



AALBORG UNIVERSITET

Automatisk validering og monitorering af dataindholdet i BIM

Kandidatspeciale i bygningsinformatik

Mads Hardahl

Erik Risbøl Vils



Titelblad

Titel: Automatisk validering og monitorering af dataindholdet i BIM
Semester: 4. semester
Semestertema: Kandidatspeciale
Projektperiode: 01.09.2018 – 10.01.2019
ECTS: 30
Vejleder: Kjeld Svidt



Mads Hardahl



Erik Risbøl Vils

Oplag: Digitalt
Antal sider: 112 sider (7 sider introduktion, 105 sider rapport)
Antal appendiks: 8
Antal bilag: 1

Denne opgave er udarbejdet af gruppens medlemmer. Opgaven er udtryk for de studerendes egne synspunkter, der ikke nødvendigvis deles af Universitetet. Kopiering eller anden gengivelse af opgaven eller dele af den er kun tilladt med forfatterens tilladelse.

Forord

Denne rapport er udarbejdet som kandidatspeciale til uddannelsen Bygningsinformatik (Cand. Scient. Tech) ved Aalborg Universitet. Rapporten er udfærdiget af en projektgruppe bestående Erik Risbøl Vils og Mads Hardahl i perioden 1. september 2018 til 10. januar 2019.

I forbindelse med udarbejdelsen af projektrapporten har projektgruppen været i kontakt med flere samarbejdspartnere, som har været behjælpelige i form af interviews og anden støtte. Der skal i den forbindelse gives en stor tak til:

Mathias Elkjær Rasmussen – BIM Manage, C.F Møller Architects A/S

- Interview

Martin Kejser – BIM Koordinator, MT Højgaard A/S

- Interview

Mads Carlsen – BIM Manager, Årstiderne Arkitekter A/S og medlem af organisationen DiKon

- Interview

Sylvester Holm Knudsen – VDC Specialist, MT Højgaard A/S

- Inddraget i workshop

Rene Øksengaard – VDC Specialist, MT Højgaard A/S

- Inddraget i workshop og løsningsevaluering

Ole Breiner – VDC Manager, MT Højgaard A/S

- Inddraget i workshop og løsningsevaluering

Mikkel Lieberkind – VDC Manager, MT Højgaard A/S

- Inddraget i workshop

Derudover skal Kjeld Svidt, vejleder og lektor ved Aalborg Universitet, have en stor tak for sin store indsats som vejleder igennem hele projektforsløbet.

Læsevejledning

Projektet består af to hovedelementer, denne projektrapport samt én ZIP-fil med appendiks/bilag. Rapportens afsnit er kronologisk nummereret med hierarkisk nummererede underafsnit. Figurer og tabeller er nummereret efter hovedafsnittenes nummereringer. En samlet figur- og tabelliste forefindes under afsnittet *Referencer*. Størstedelen af figurerne i rapporten er udarbejdet på en sådan måde, at der ved læsning af en digital udgave kan **zoomes** i disse. Såfremt der ingen kildeangivelser er i figurteksten, er figuren udarbejdet i forbindelse med dette projekt. Anvendte kilder er angivet efter APA-metoden og er oplistet alfabetisk i afsnittet *Referencer*. Krydsreferencer til afsnit og figurer fungerer som hyperlinks. Læses rapporten som PDF, kan tastaturgenvejen **ALT + venstre pil** flytte læseren tilbage til startpunktet for krydshenvisningen.



Resumé

I nærværende speciale undersøges mulighederne for automatisk validering og monitorering af dataindholdet i BIM (Building Information Model).

BIM er blevet en central informationskilde i det daglige arbejde for flere aktører i bygge- og anlægsbranchen, hvilket også gør sig gældende for specialets primære virksomhedscase MT Højgaard (MTH). MTH har ligesom resten af branchen konstateret, at manglende, redundant eller fejlbehæftet data hæmmer muligheden for at udnytte BIM til sit fulde potentiale. Af denne grund har MTH forsøgt at validere og kvalitetssikre BIM-modellernes dataindhold, men uden den ønskede effekt bl.a. grundet ressourcekrævende og manuelle arbejdsprocesser. MTH efterspørger/ønsker en automatisering af nuværende arbejdspraksis - helt konkret hvordan dataindholdet i BIM-modellerne løbende kan valideres og monitoreres i projekteringsfaserne.

Den overordnede proces i specialet tager udgangspunkt i *Contextual design*-metodikken. I problemanalysen undersøges bagvedliggende teorier som baggrund for udvikling af et konkret løsningsforslag. Først undersøges BIM-baseret modelkontrol, samt de forudsætninger og processer, som denne indbefatter. Forudsætningerne adresseres gennem en analyse af aftalegrundlag, nuværende modelleringspraksis og metoder til dataudveksling. Efterfølgende analyseres eksisterende softwareprogrammer til BIM-baseret modelkontrol for at vurdere begrænsninger og potentielle forbedringstiltag, der bør indtænkes i løsningsforslaget. Denne analyse identificerer essentielle begrænsninger, som gør det nødvendigt at udvikle egen prototype. Det visuelle programmerings-software Alteryx Designer vurderes ideel til at validere BIM-modellens dataindhold, mens Microsoft Power BI vurderes at være velegnet til at formidle valideringsresultaterne.

På baggrund af problemanalysens konklusioner udvikles, ved brug af Alteryx og Power BI, en prototype til automatisk BIM-baseret modelkontrol. Prototypen udvikles med afsæt i en BIM-model udleveret af MTH. Helt konkret kan modelkontrollen eksekveres på lidt over 2 minutter, der validere otte bygningsdele, og formidle valideringsresultaterne gennem 18 interaktive dashboards. Prototypen lagrer valideringsresultater på tværs af versioner, og muliggør derved monitorering af BIM-modellerne gennem projekteringsfaserne. Dette er et væsentligt fremskridt i forhold til tidligere anvendte valideringsmetode, som tog i gennemsnit én arbejdsuge for et samlet projekt og kun gav et øjebliksbillede af projekteringsforløbets samlede performance.

Sidst i rapporten testes, diskuteres og evalueres nogle kritiske problemstillinger ved brug af prototypen og en sammenfattet konklusion på specialets problemfelt udledes.



Abstract

This Master's thesis examines the possibilities of automated validation and monitoring data content in BIM (Building Information Model).

BIM has become a central source of information in the daily work for several players in the AEC-industry, which also applies to the thesis main business case MT Højgaard (MTH). Like the rest of the industry, MTH has identified that missing, redundant or incorrect data repress the possibility of utilizing the full potential of BIM. For this reason, MTH have tried to validate and quality assure data content in BIM-models, but without the desired effect due to excessive requirements regarding manual workload in relation to the process. MTH has requested a solution to automation of current work practices, especially on how data content in BIM-models can be validated and monitored throughout the design phases.

The overall process of the project report is based on the *contextual design* methodology. The problem analysis examines the underlying theories, which will form the basis of developing a proposed solution. At first, BIM-based model checking will be examined, including which preconditions and processes it is based upon. Furthermore, the preconditions will be examined throughout an analysis of agreements, modeling practices and methods for data exchange. Finally, existing software applications for BIM-based model checking will be examined in order to identify limitations and potential improvements, which should be incorporated in the solution. Due to the identified limitations, it is necessary to develop a prototype. The visual programming software Alteryx Designer is rated ideal for validating the data content in BIM, with Microsoft Power BI as a good candidate for mediating the results.

On basis of the problem analysis, a prototype is developed using Alteryx and Power BI. The development will be based on a BIM-model handed out by MTH. The execution of the model checking takes about 2 minutes, validating eight building components, and the results are communicated in 18 interactive dashboards. The results are stored across versions, and thereby the BIM-models can be monitored throughout the design phases. This is a significant improvement on previous validation methods, which in average took one week for a whole project and gave only a snapshot of the full performance of the design process.

Various key issues and concerns will be presented, discussed and evaluated in the final chapters of the report with the resulting conclusion presented in the end.



Indholdsfortegnelse

1	Indledning	1
1.1	Problemstilling	2
1.2	Case beskrivelse	4
1.2.1	MT Højgaard A/S	4
1.2.2	Problemstilling ved eksisterende arbejdsprocesser	4
1.3	Problemformulering	8
1.4	Afgrænsning	10
2	Metode	12
2.1	Contextual design	12
2.1.1	Conceptual Modeling	13
2.2	LFA-metoder	14
2.3	Interviewmetode	15
2.4	Litteraturstudie	15
3	Problemanalyse	16
	Del I: Baggrundsanalyse	17
3.1	Behovsafklaring	17
3.1.1	Sekvensmodel over nuværende arbejdsprocesser	18
3.1.2	Fastlæggelse af interessenterne kravspecifikationer	20
3.2	BIM-baseret modelkontrol	21
3.2.1	Processer i regelkontrol	22
3.2.2	Koncepter til regelkodning	24
3.3	Aftalegrundlag og Building Information Modeling	26
3.3.1	IKT-aftalen og leverancespecifikationer	26
3.3.2	Byggebranchens BIM-modenhedsniveau	30
3.4	Interoperabilitet	33
3.4.1	buildingSMART	34
3.4.2	Modelklargøring og dataeksport	37
3.5	Opsamling: Forudsætninger for specialets løsningsforslag	39
	Del II: Teknologiske faktorer	40
3.6	Analyse af eksisterende softwareapplikationer	40
3.6.1	Informationskontrol i Solibri Model Checker (SMC)	42
3.7	Visuel programmering	45
3.7.1	Visuel programmering koblet til CAD	45
3.7.2	Visuel programmering til dataanalyse	46
3.7.3	IFC-bygningsmodeller til Excel	49
3.8	Datavisualisering til resultatrapportering	50
3.8.1	Metoder og værktøjer til data visualisering	51

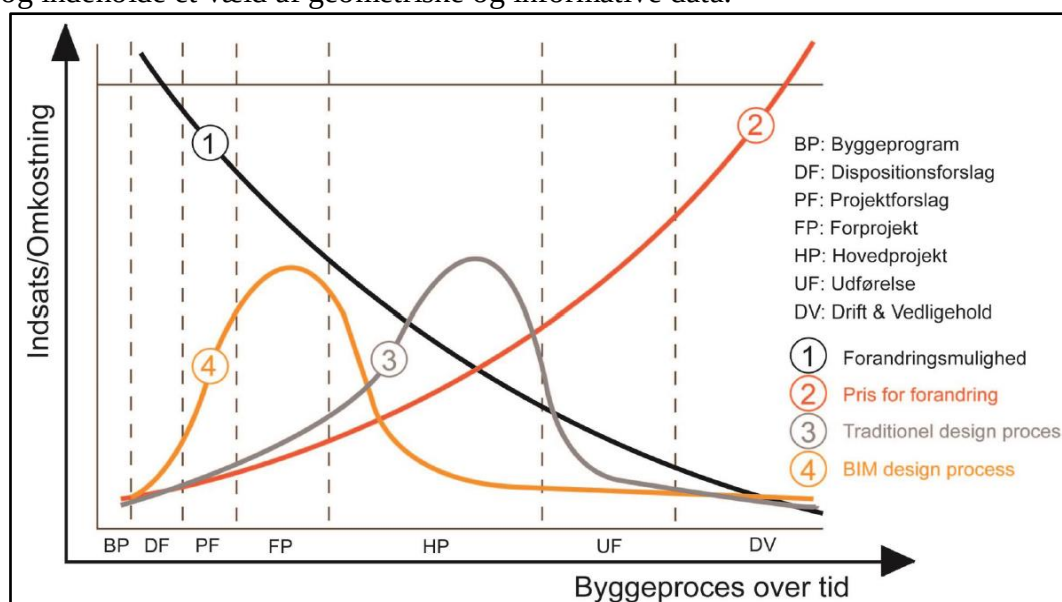


3.8.2	User interface	53
4	Problembearbejdning.....	54
4.1	Forudsætninger og valg af software	54
4.2	Præsentation af case-bygning.....	56
4.3	Løsningsforslag / prototype	58
4.3.1	Oversættelse af IFC-data til Excel (Workflow 1).....	59
4.3.2	Data import og data rensning (Workflow 2)	61
4.3.3	BIM-baseret modelkontrol (Workflow 3).....	63
4.3.4	Klargøring af valideringsresultater til Microsoft Power BI (Workflow 4).....	68
4.3.5	Opsætning af digitale dashboards i Power BI (Workflow 5).....	70
4.4	Ny arbejdsproces ved brug af prototypen	74
4.5	Diskussion.....	76
4.5.1	Test af datalabel metoden.....	76
4.5.2	Test af segmenteringsprocessen	79
4.5.3	Diskussion af geometrisk kontrol og informationskontrol	83
4.5.4	Løsningsevaluering.....	87
5	Konklusion.....	91
6	Perspektivering.....	94
7	Referencer.....	96
7.1	Litteraturliste	96
7.2	Tabel- og figur liste	101
8	Appendiks og bilag liste	105

1 Indledning

Den øgede digitalisering og konstante udvikling af nye digitale artefakter betyder, at der produceres data som aldrig før. Dette gør sig også gældende for bygge- og anlægsbranchen, hvor digitaliseringen for mange, er blevet synonym med Building Information Model (BIM). Selvom den digitale omstilling i byggebranchen ind til nu er gået trægt, tyder det på at udviklingen nu for alvor har taget fart. Flere virksomheder begynder i stigende grad at arbejde digitalt. Dette involverer brugen af software-applikationer, der understøtter byggeprocessen samt deling af data på tværs af faggrupper. Alle led i værdikæden arbejder efterhånden med digitale modeller, lige fra rådgivere til driftsorganisationer (Molio, 2018c).

Den øgede digitalisering har ligeledes betydet, at CAD-programmer har gennemgået en markant udvikling. Den nuværende generation af CAD-programmer kaldes objektbaserede parametriske modelleringsprogrammer. Disse kendetegnes ved at indeholde komplekse 3D-objekter, med indbyrdes relationer og indeholde et væld af geometriske og informative data.

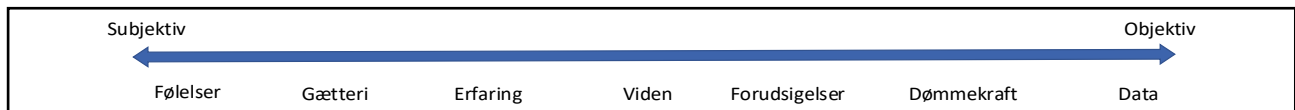


Figur 1-1 Traditionel projektering sammenlignet med BIM-projektering. Indsatsen i BIM-projektering ligger i starten af projektet - (Svidt, 2017)

De informationsrige BIM-modeller muliggør, at projektets aktører på tværs af fagområder kan tilgå projektspecifikke informationer, der kan have indflydelse på beslutningsgrundlaget. Figur 1-1 illustrerer, hvorledes de objektbaserede BIM-modeller danner grundlag for revurdering af den traditionelle designproces. Byggeprojekter har størst forandringspotentiale i de tidlige faser, da omkostningerne forbundet med forandringen er lavere. BIM-designprocessen kan indeholde tidlige analyser, ved brug af BIM-modellernes informationer, hvilket frembringer et gennemtænkt og optimeret beslutningsgrundlag.

I den traditionelle designproces er beslutninger historisk set blevet truffet på et subjektivt grundlag. Beslutningstagerens mavefornemmelse, erfaring og viden har spillet en afgørende rolle i de valg, der

er truffet. Ved at anvende BIM-data i beslutningsprocessen, træffes mere pålidelige valg på et mere objektivt og informativt grundlag, og ikke på baggrund af enkeltpersoners subjektive holdninger (Deutsch, 2015).



Figur 1-2 Spektrum af beslutningskriterier: Data fremme troværdigheden - (Deutsch, 2015)

Virksomhedernes omstilling og investering i den digitale dagsorden betyder, at de digitale modeller er blevet en central informationskilde for det daglige arbejde. Derfor stilles der store krav til modellernes datakvalitet, da disse data danner grundlag for afgørende beslutninger i byggeriet. I bygge- og anlægsbranchen anvendes softwareapplikationer i høj grad til at bygge, analysere og simulere virtuelt, før der bygges i den virkelige verden. Men som ved alle byggeprojekter, bliver resultatet ikke bedre end de materialer, der bygges af. I denne sammenhæng kan BIM-modellens data betegnes, som den digitale verdens byggematerialer. Det er af den grund essentielt at de data, der indarbejdes i modellerne, er af ordentlig kvalitet.

1.1 Problemstilling

BIM muliggør i stigende grad anvendelsen af data i beslutningsprocessen. Flere undersøgelser viser gode resultater ved udnyttelse af BIM. Heriblandt gennem modelbaserede mængdeudtræk, kollisionskontroller samt 4D- og 5D simuleringer, som alle har en fællesnævner: et datagrundlag af høj kvalitet (Leite, Akcamete, Akinci, Atasoy, & Kiziltas, 2011).

Det er dog langt fra altid at datagrundlaget i BIM-modellerne er af tilstrækkelig kvalitet. Det estimeres at fejl i udførelsen udgør 5-10% af den samlede anlægssum, hvoraf en stor andel af fejlene kan spores tilbage til ringe projektmateriale (Lopez, Love, Edwards, & Davis, 2010). Her spiller datakvalitet i BIM en meget afgørende rolle, da manglende eller forkerte informationer medfører fejlbehæftet projektmateriale. Af den grund kan en reduktion af fejl i projektmaterialet, og de afledte konsekvenser dette måtte have, opnås ved at forbedre datakvaliteten (Bavafa, 2015). Bygherre Foreningen, Realdania and Bygningsstyrelsen (2017) argumenterer tillige for, at fejlbehæftet projektmateriale har konsekvens for projektets performance. Rapporten beskriver, at der er sket en u hensigtsmæssig udvikling i branchen, hvor bygherrer og udførende mener, at projekterende rådgivere ikke leverer den ønskede kvalitet. Mange fejl i projekteringen kan elimineres, hvis rådgiverne implementerer bedre interne og eksterne kvalitetssikringsprocesser (Bygherre Foreningen et al., 2017). Da BIM-modellernes data i højere grad bliver omdrejningspunktet for det daglige arbejde, ses en kvalitetssikring af BIM-modeller og rådgivernes aftalte ydelser derfor som essentiel.

Manglende fokus på datakvalitet i BIM kan muligvis henføres til en manglende forståelse for BIM-modellernes egentlige funktion. Sean Bruke fra NBBJ argumenterer for, at branchens interessenter har misforstået værdien af BIM-modellerne, og mener BIM i højere grad opfattes og anvendes som en database (Deutsch, 2015). At anse BIM-modellerne som databaser muliggør, at data med direkte

kobling til bygningsdelene i projektet lagres et samlet sted. Dette kan sikre en mere effektiv informations- og videndeling på tværs af fagdiscipliner, hvilket netop er en fordel ved BIM. Ved direkte datadeling er den åbenlyse gevinst, at data ikke skal genproduceres eller genindtastes manuelt. Dog med konsekvens for, at fejlbehæftede data spredes (Vestergaard, Karlshøj, Hauch, Lambrecht, & Mouritsen, 2012). Derfor stilles der store krav til de enkelte fagdiscipliners kvalitetssikring af dataleverancer.

Ástrídur Elin Ásgeirsdóttir VDC Development Manager hos entreprenørfirmaet Aarsleff A/S fortæller til Molio Magasin, at deres største udfordring er mangel på information i BIM-modellerne:

“Vi er afhængige af at få informationer fra alle fag, men som det er i dag, ved vi ikke, hvilken kvalitet modellerne er i. [...] Hvis vi får et bedre informationsgrundlag fra alle fag i byggeriet, får vi en bedre baggrund for at træffe beslutninger. For man kan ikke drage nytte af de digitale muligheder, hvis man ikke har tilstrækkeligt med information, og det er udfordringen i hele byggebranchen”

(Molio, 2018a).

Citatet belyser, at hvis modellerne ikke indeholder det aftalte informationsindhold, undermineres muligheden for aktiv anvendelse af modellerne til datadrevne beslutninger. I undersøgelsen ”Digitalt Barometer” udarbejdet af Molio (2018b), fremgår det, at 3 ud af 4 i byggebranchen mener, at datadeling såvel eksternt som internt, har en stor indvirkning på virksomhedernes kernefunktioner. Derfor er det helt essentielt at kunne stole på den data der deles.

Ifølge Sean D. Burke er det nødvendigt at validere data, da simuleringer og analyser ikke er mere retvisende, end den data, som de bygges på.

“Data will win when it is able to be validated. [...] If at the end of the day you give the wrong piece of data, or a piece of data that’s interpreted in the wrong way to the client, and they latch on to only that—and that is wrong—the whole thing unravels” (Deutsch, 2015)

Ovenstående belyser et stigende behov for at kunne kvalitetssikre dataindholdet i BIM. Af den grund kan det undre at problemstillingen ved manglende eller fejlbehæftet data, ikke i højere grad bliver adresseret i bygge og anlægsbranchen. En af problematikkerne for byggebranchen er, at ingen projekter er ens, hvilket hæmmer muligheden for genbrug af kvalitetssikringsprocedurer på tværs af projekter. Skiftende lovkrav, forskellige standarder og modelleringspraksis fra projekt til projekt besværliggør opsætningen af generelle kvalitetssikringsprocedurer. Dette medfører, at der skal foretages mange projektspecifikke ændringer, og af denne grund er kvalitetssikring af dataindholdet i BIM en ressourcekrævende proces. Det handler om at få nedbragt de manuelle ressourcekrævende arbejdsprocesser, der er forbundet med validering af dataindholdet i BIM.

Ovenstående problemstilling gør sig tillige gældende hos entreprenørvirksomheden MT Højgaard (MTH). MTH har ligeledes oplevet konsekvenserne af manglende informationsgrundlag i BIM-modellerne, og vil i dette speciale indgå som virksomhedscase.

1.2 Case beskrivelse

I problemstillingen afsnit 1, blev det belyst at de fleste virksomheder i byggebranchen arbejder med BIM, og at deling af data er blevet en af virksomhedernes kernefunktioner. Af den grund har data-kvalitet i BIM fået en enorm betydning for virksomhedernes daglige arbejde. Dette gælder også for specialets case-virksomhed. I det følgende afsnit introduceres den virksomhed, som specialet bygges op omkring. Virksomhedscasen anvendes løbende gennem projektet, dels for at identificere nuværende problemstillinger, dels som grundlag for præsentation af løsningsforslag med optimeret arbejdsprocedure.

1.2.1 MT Højgaard A/S

MTH er en af nordens største og førende bygge- og anlægsvirksomheder med projekter i både ind- og udland. Virksomhedens historie går 100 år tilbage, da den er en sammenlægning af entreprenør-virksomheder Højgaard & Schultz og Monberg og Thorsen (MT Højgaard A/S, 2017b).

MT Højgaard Groups vision er at blive den mest produktivetsfremmende koncern i bygge- og anlægsbranchen.

Vision Den mest produktivetsfremmende koncern i bygge- og anlægsbranchen				
Krav 5% EBIT som minimum i alle forretningsområder og dattervirksomheder Positivt cash flow		Mål Kundetilfredshed indeks 76 60% omsætning fra nøglekunder Medarbejdertilfredshed indeks 76 Ingen fejl og mangler Maks. 14 ulykker pr. 1 mio. arbejdstimer Løbende produktivetsforbedring		
Projekter fra samfund til drift		Best in class VDC		Udnytte koncernsynergier
Styr på driften	Medarbejdere, ledelse, kultur og værdier	Projekt- og prisoptimering	Marked og kunder	Koncernstrategi

Figur 1-3 MT Højgaards Groups vision

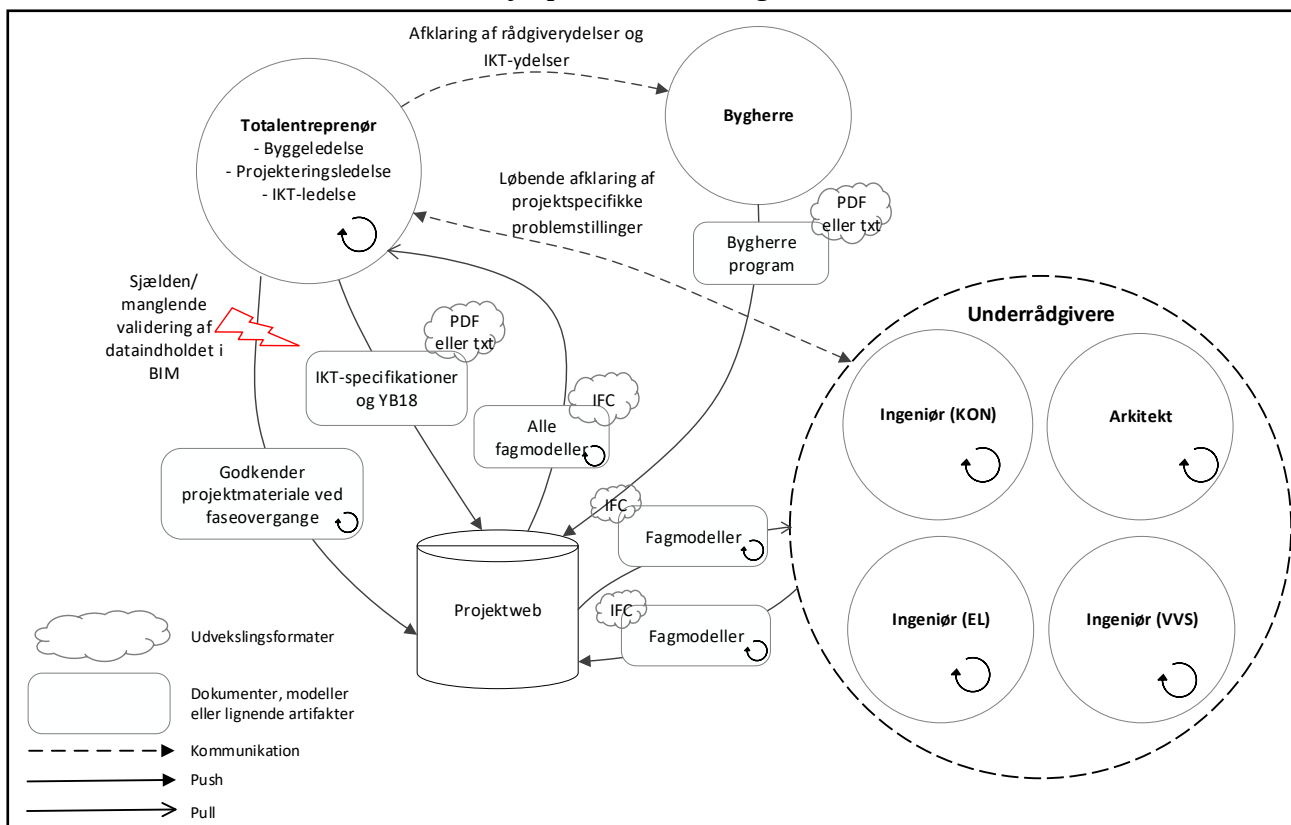
Visionen vist i figur 1-3 operationaliseres gennem en række opstillede mål og krav, heriblandt indsatsområdet om, at være *best in class Virtual Design and Construction (VDC)*. Denne målsætning viser, at MTH tror på at produktiviteten og indtjeningen kan forøges ved anvendelse af digitale værktøjer, digitale workflows og samarbejdsformer. Visionen forpligter, hvilket ses gennem MTH's massive investeringer i viden, kompetencer og artefakter, som i dag dækker over 40 medarbejdere og 12 VDC-laboratorier i både ind- og udland.

1.2.2 Problemstilling ved eksisterende arbejdsprocesser

I forbindelse med MTH's omstilling og investering i den digitale dagsorden, er de digitale modeller blevet en central informationskilde for det daglige arbejde. Som belyst i afsnit 1 stiller dette store krav til modellernes dataindhold, da disse data danner grundlag for afgørende datadrevne beslutninger. Hvis modellerne løbende beriges med data gennem byggeprojektet, giver det mulighed for at træffe analysebaserede beslutninger på et mere informativt og objektivt grundlag end ved tidligere

traditionelle beslutningsprocesser. I flere tilfælde har MTH måtte konstatere, at manglende, inkonsistente eller fejlbehæftede data har hæmmet muligheden for datadrevne beslutninger. Derfor har MTH startet et udviklingsprojekt, der har til formål at kvalitetssikre dataindholdet i rådgivernes BIM-modeller automatisk og løbende gennem processen, hvilket indeværende speciale vil forsøge at adressere.

I bestræbelserne på at adressere ovenstående problemstillinger, er det væsentligt at analysere de eksisterende arbejdsprocedurer, der er forbundet med arbejdet omkring validering af BIM-data, som led i contextual design kaldt contextual inquiry¹. I denne sammenhæng er der udarbejdet en workflowmodel, der illustrerer de overordnede arbejdsprocesser ved digitale leverancer.



Figur 1-4 Nuværende workflow model – Illustrationen viser de gængse projektaktører afgrænset til udvekslingen af digitale leverancer i projekter hvor MTH er totalentreprenør.

Figur 1-4 skitserer de hyppigste projektaktører ved en totalentreprise. Modellen er fokuseret til processerne om digitale leverancer, hvilket skal anskues som en iterativ proces. Ingeniører og arkitekt uploader deres respektive fagmodeller som IFC-datamodeller til en central projektserver på ugentlig basis iht. gældende IKT-specifikationer². Totalentreprenøren, som er ansvarlig for byggeledelsen, projekterings- og IKT-ledelsen, er forpligtet til at sikre konsistens i projektmaterialet (bips, 2015b). Afhængigt af hvilket informationsniveau modellerne er modelleret til, ligger her tusindvis af geometriske- og informative data tilgængelige, hvortil projekteringsledelsen har til ansvar at sikre konsistens

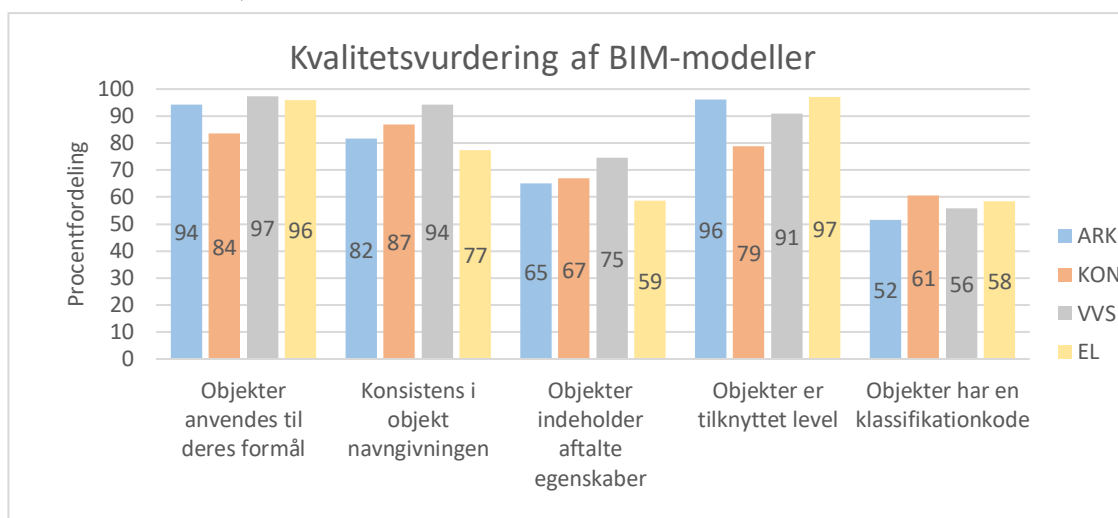
¹ Metoden vil blive yderligere beskrevet i afsnit 2.1

² Disse vil analyseres i afsnit 3.3.1

og entydighed i projektmaterialet. Workflowdiagrammet belyser, at der på nuværende tidspunkt er beskeden eller manglende validering af dataindholdet i BIM, til trods for at de digitale modeller er blevet en central informationskilde. Hovedårsagen til den manglende validering af data er manuelle og ressourcekrævende arbejdsprocesser³. Hvilket som belyst i afsnit 1.1 blandt andet skyldes, at det er vanskelige at opsætte gængse kvalitetssikringsprocedurer da ingen projekter er ens.

Da MT Højgaard har anerkendt, at datadrevne beslutninger ikke er mere retvisende end de data de bygges på - er det forsøgt at kvalitetsvurdere BIM-modellerne. Den interne proces for kvalitetsvurdering af BIM hos MTH kaldes *Design Quality Assessment* (Design QA). Denne proces vil blive analyseret i afsnit 3.1.1. Processen er meget ressourcetung, og derfor kun udarbejdet på udvalgte risikobehæftede projekter. Kvalitetsvurderingen gennemføres desuden kun én gang i løbet af designfasen. Af den grund ønsker MTH en forbedret og mindre ressourcekrævende metode, der løbende kan kvalitetsvurdere BIM-modeller.

Den mangelfulde datakvalitet i BIM-modellerne ses i tabel 1-1, som illustrerer resultaterne af 10 Design QA'er, som omfatter ca. 2. millioner objekter med en gennemsnitlig LOD-grad på 300. Analysen er udført på 5 hospitalsbyggerier, 3 boligbyggerier og 2 skolebyggerier, hvor anlægssummen rangerer fra 100 mio. kr. til 4,9 mia. kr.



Tabel 1-1 Analyse af 10 projekter, som omfatter ARK: 9 modeller, KON: 8 modeller, VVS: 7 modeller og EL: 8 modeller. - Eget værk

Tabellen viser de overordnede kategorier, som MTH vurderer modellens kvalitet med afsæt i⁴. Her ses det tydeligt, at kategorierne *objekter indeholder aftalte egenskaber* og *objekterne har en klassifikationskode* er de mest mangelfulde. Resultaterne viser væsentlige mangler, hvilket kan hæmme muligheden for at anvende den værdifulde data i BIM. Denne problemstilling rammer ikke kun MTH,

³ Disse arbejdsprocesser vil beskrives yderligere i afsnit 3.1.1

⁴ Disse tager udgangspunkt i MTH's 12 simple modelleringsregler, som vil analyseres yderligere i afsnit 3.1.2.

men hele branchen, hvilket blandt andet ses i Molio's undersøgelser (Molio, 2018b), samt udtalelserne af Astridur Elin Ásgeirsdóttir fra Per Aarsleff.

Martin Kejser, BIM-koordinator hos MTH har oplevet konsekvenserne af fejlbehæftede eller manglende data i BIM-modeller:

"Hvis de korrekte informationer havde været tilknyttet objekterne, så var de ting som er gået galt på projektet, hvor flere materialer er blevet bestilt i den forkerte brandbeskyttelse, korrektionsklasse eller andet, ikke gået galt." (Kejser, 2018)⁵.

Citatet belyser at et fejlbehæftet dataindhold i BIM, kan have økonomiske konsekvenser for projektet. Bestilling af forkerte materialer, vil naturligvis være fordyrende for projektet. Dette understreger at det er nødvendigt at kvalitetssikre og validere dataindholdet, før det er muligt at stole på informationerne i modellerne.

Workflowmodellen illustrerer MTH's ansvar ved totalentreprise, men problemstillingen kan tillige overføres til andre entrepriseformer, hvor projekterende rådgivere er totalrådgivere.

I denne situation er totalrådgiveren ansvarlig for projekterings- og IKT-ledelse, hvoraf BIM-manager Mathias E. Rasmusen hos C.F. Møller udtaler følgende:

"Vi tjekker ikke informationsindholdet. Det vi laver er intern KS på de færdige tegninger. [...] Vi har nogle lidt ældre sager, hvor vi hænger på det materiale som ingeniøren har lavet, fordi vi har været totalrådgiver. Og det materiale er bare ikke godt nok. Det går kun ud over os, når vi er totalrådgiver." (Rasmusen, 2018)⁶

Med andre ord er problemet med validering og kvalitetssikring af dataleverancer ikke kun en problemstilling i MT Højgaard regi, men en brancheproblemstilling for alle rådgivende parter, som er ansvarlig for projekterings- og IKT-ledelsen. Ovenstående citat belyser desuden, at ringe BIM ikke kun hæmmer muligheden for at anvende modellerne aktivt i beslutningsprocessen, men også kan have juridiske konsekvenser for totalrådgiveren/totalentreprenøren. Problemstillingerne belyst i både afsnit 1.1 vil danne grundlag for dette speciales problemformulering.

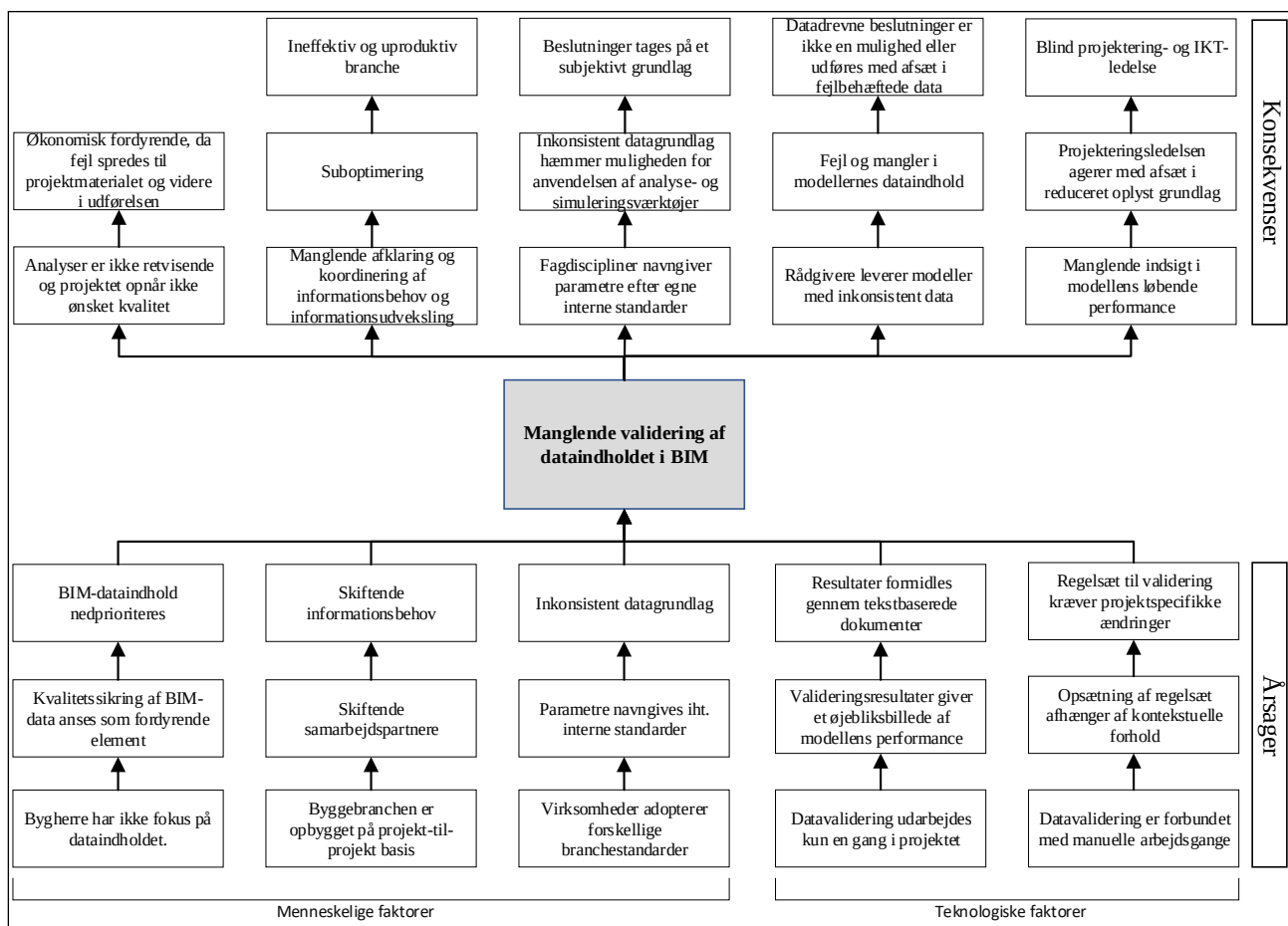
⁵ Interviewreferat forefindes i appendiks 2

⁶ Interviewreferat forefindes i appendiks 1

1.3 Problemformulering

I afsnit 1 er det belyst, at case virksomheden MTH anser digitale modeller som en central informationskilde, som virksomheden er dybt afhængig af. MTH har ligesom resten af branchen konstateret, at manglende eller fejlbehæftet data hæmmer muligheden for at udnytte modellerne til sit fulde potentiale.

Figur 1-5 viser projektets problemtræ. Problemtræet identificerer hhv. årsager og konsekvenser, som er tilknyttet projektets problemfelt - markeret med grå i midten af figuren. For overblikkets skyld er årsagerne inddelt i menneskelige og teknologiske faktorer. Virksomhedscasen, samt dertilhørende udtalelser og analyser i afsnit 1 viser, at branchen efterspørger mere effektive metoder til at kvalitetsvurdere data i BIM-modeller. Eksisterende arbejdsprocedurer er forbundet med manuelle ressourcetunge processer, hvilket betyder, at dataindholdet i BIM sjældent eller aldrig valideres.



Figur 1-5: Problemtræ for projektets problemfelt. Årsager vises under det centrale problem (den grå boks), og konsekvenserne vises ovenfor.



Denne problemstilling danner grundlag for projektets problemfelt, som udmunder i følgende problemformulering og underspørgsmål:

Hvordan kan dataindholdet i BIM valideres automatisk og løbende gennem designprocessen, således at datakvaliteten højnes?

- *Hvilke metoder findes der til validering af dataindholdet i BIM?*
- *Hvilke teknologiske muligheder er der for automatisk at validere dataindholdet i BIM?*
- *Hvorledes er det muligt at kommunikere resultaterne på en letforståelig måde?*

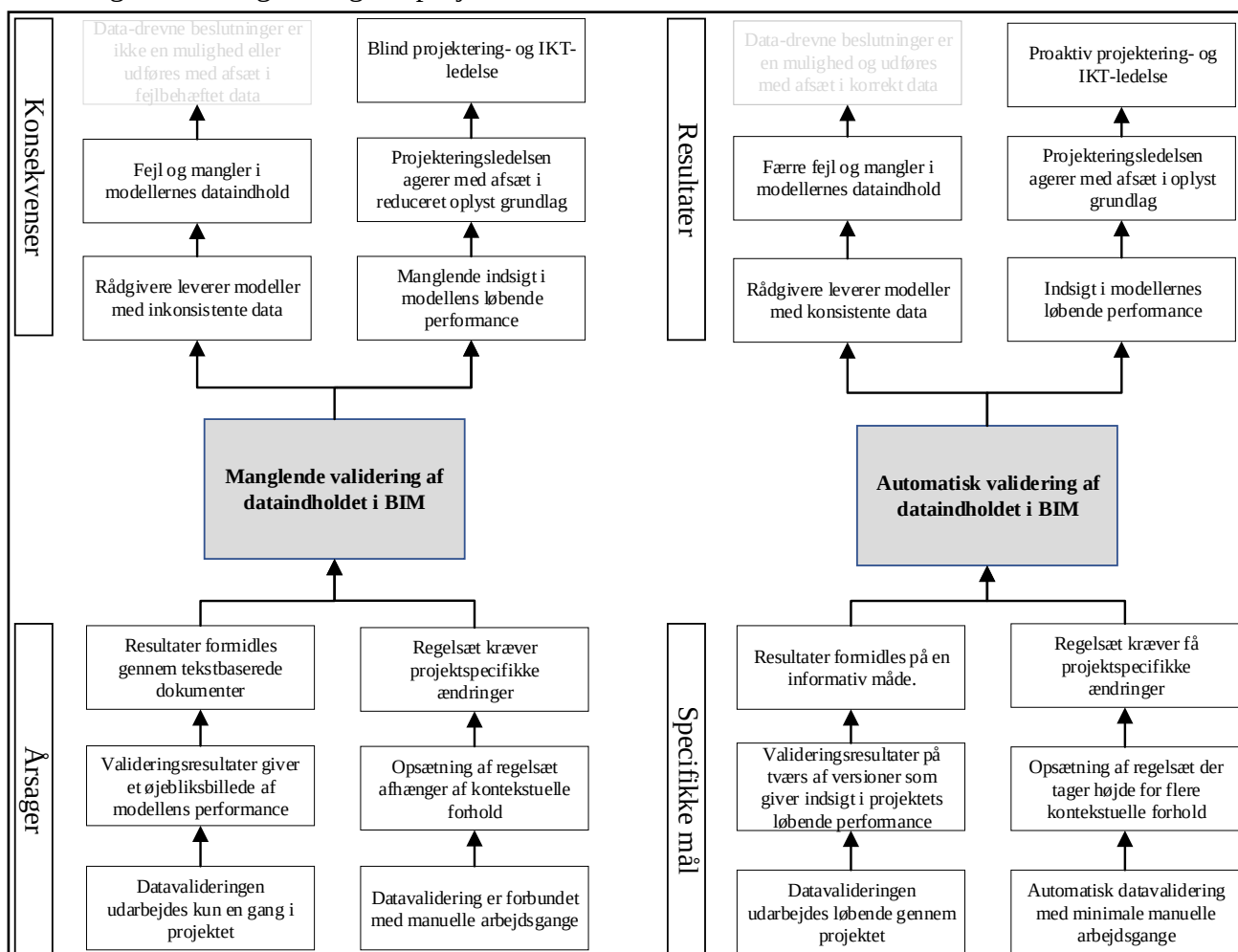
Udvikles der en løsning til effektiv validering af dataindholdet i BIM, kan fejlbehæftet data løbende elimineres gennem designprocessen, og herved vil "data vinde" ifølge Sean D. Burke. Problemfeltet er, som det præsenteres i det ovenstående, forholdsvis bredt. Derfor er der i det følgende blive udarbejdet en projektafgrænsning, der har til formål at fokusere projektets omfang til et passende niveau.

1.4 Afgrænsning

Dette projekt vil primært beskæftige sig med de teknologiske faktorer, som påvirker problemfeltet, mens de menneskelige faktorer berøres perifert gennem problemanalysen.

Afgrænset problemtræ

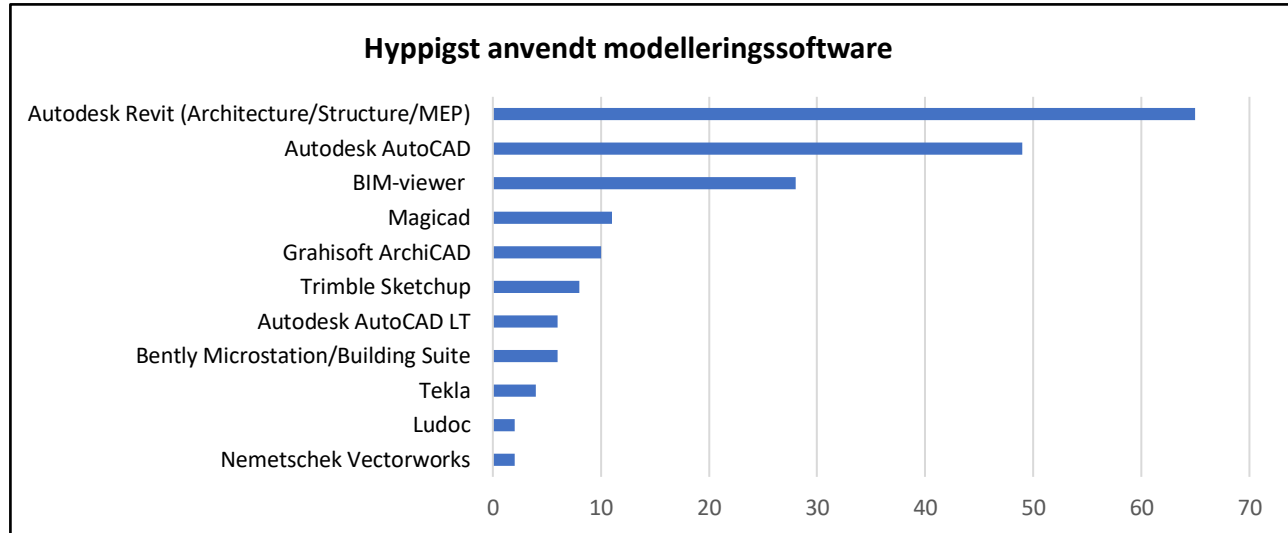
Figur 1-6 er baseret på problemtræet i afsnit 1.3, men afgrænset til de teknologiske områder, som vil blive behandlet i projektet. Ligeledes er der udarbejdet et måltræ, der har til formål at illustrere de specifikke mål for projektet løsningsforslag, og de resultater der vil afstedkomme heraf. Særligt vil der være fokus på, hvorledes de ressourcetunge valideringsprocesser kan lettes. Det afgrænsede problem- og måltræ er grundlag for projektets vision/mål.



Figur 1-6 Projektets afgrænsede problemtræ er vist til venstre, og det dertilhørende måltræ til højre. Det afgrænsede problemtræ viser de problemfelter, som bearbejdes i dette projekt. Måltræet, som er baseret på problemtræet, viser de mål, som er fokus på at opfylde i forbindelse med udarbejdelsen af projektet.

Afgrænsning af modelleringssoftware

Helt specifikt vil der i projektet være fokus på anvendelse af IFC-datamodeller. Projektet afgrænses til brug af Revit som den primære modelleringsapplikation, da Revit er den mest anvendte modelleringsapplikation på nationalt plan jf. en spørgeundersøgelse fra 2014-2015 udført af bips⁷.



Tabel 1-2 Hyppigst anvendte modelleringssoftware i den danske bygge- og anlægsbranchen -(bips, 2015a)

Afgrænsning af løsningsforslaget

Projektets løsningsforslag er afgrænset til, at håndtere én casebygning (etagebolig) med en detaljeringsgrad på LOD 325, der beriges med egenskabsdata svarende til *informationsniveau* 5, som vil beskrives yderligere i afsnit 4.2. Selve valideringskontrollen vil være afgrænset til 6 af MTH's 12 modelleringsdiscipliner, som vil beskrives i afsnit 3.1.2. Tillige vil det fremtidige løsningsforslag være afgrænset til 8 bygningsdele, som vil yderligere belyses i afsnit 4.2.

For at kunne analysere på potentialet for automatisering af datavalidering, vil der i det følgende afsnit blive redegjort for de anvendte metoder. Disse metoder danner grundlag for det videre arbejde med problemfeltet. Efter metodebeskrivelsen bearbejdes problemformulering i problemanalysen i afsnit 3.

⁷ bips (nu Molio) er en brancheorganisation, hvis formål blandt andet er standardisering af en række værktøjer såsom arbejdsbeskrivelser, digitale leverancer og bygningsdelskodning.

2 Metode

I det følgende gennemgås projektets anvendte metoder til såvel dataindsamling som databearbejdning. Der redegøres for, hvorledes metoderne medvirker til at afklare projektets problemfelt.

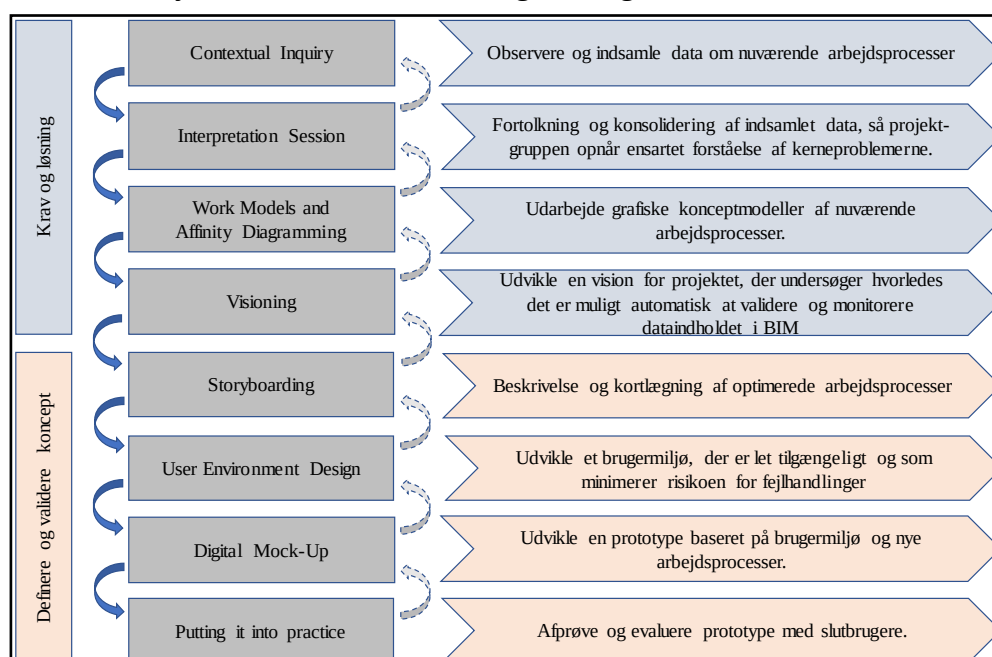
Projektet tager udgangspunkt i fire metoder:

- *Contextual design*: danner ramme for projektets problemanalyse og problembearbejdning
- *Logical framework approach*: afgræsning og retningsdannelse for projektet
- *Interview metode*: sætter retningslinjer for interviews.
- *Litteraturstudie*: sikrer at anvendt kvalitativ og kvantitativ litteratur opnår ønsket reliabilitet og validitet

2.1 Contextual design

Dette projekt anvender contextual design, som den primære metode. Contextual design er en struktureret brugercentreret designproces, der benyttes i forbindelse med udvikling af IT- og informationssystemer. Udviklingen sker i tæt kommunikation med slutbrugerne, der medvirker aktivt i systemdesignprocessen og løbende er kilde til feedback.

Metoden er opdelt i to hovedområder i form af dataindsamling, som udmunder i kravspecifikationer til løsningen, samt en validering af systemet i samarbejde med slutbrugerne. Dataindsamlingen sker i brugernes naturlige arbejdsrammer gennem feltstudier, interviews, workshops og observationer, der skaber grundlag for fortolkning og kortlægning af arbejdsprocesserne. Dette anvendes til udvikling af en prototype. Validering af prototypen foregår ved at afprøve systemet i samarbejde med slutbrugerne, således at brugermiljøet og fejlhandlinger kan adresseres (Beyer & Holtzblatt, 1998). Processen er iterativ, hvilket betyder at de enkelte trin kan genbesøges. Metoden er beskrevet i figur 2-1.



Figur 2-1 Contextual design-metodikken – mod. efter (Beyer & Holtzblatt, 1998)

2.1.1 Conceptual Modeling

Conceptual modeling anvendes til at gengive aspekter af et system for at forstå og kunne kommunikere processerne i systemet. Metoden kendetegnes ved anvendelse af konceptmodeller til at visualisere, hvordan arbejdsprocesser og systemer er opbygget, og hvilke relationer og interaktioner der indgår. Modellerne anvendes i indeværende projekt til at synliggøre nuværende problemstillinger ved modelkvalitetsvurderinger for heraf, at skabe indsigt i kerneproblemstillingerne. Tillige vil konceptmodellerne blive anvendt til at konstruere en ny og forbedret arbejdsproces. Rapporten vil herudover gøre brug af IDEF0 til beskrivelse af data-flow.

Work models

Dette værktøj kortlægger, hvordan opgaver er fordelt mellem projektets aktører, samt hvorledes arbejdet koordineres. Værktøjet er et essentielt led i processen, da kerneproblemstillingerne ved nuværende arbejdsprocesser skal være kendt og analyseret, før en reel optimering kan finde sted. I afsnit 4.4 anvendes modellen til at illustrere et optimeret workflow.

I rapporten anvendes følgende work models:

- Workflow model
- Sekvensmodel

Workflow model:

Dette værktøj kortlægger de overordnede opgaver fordelt mellem projektets aktører, samt hvorledes aktørerne koordinerer arbejdet. Workflow modellen er i indeværende projekt afgrænset til digitale leverancer, som beskrevet i afsnit 1.2.1. Workflow modellen repræsenterer aktørernes roller, kommunikation samt hvilke artefakter, der gøres brug af for til sidst at kunne levere det ønskede produkt til kunden.

Følgende signaturer anvendes for at beskrive workflowet:

- **Kommunikation eller handling:** Kommunikationsvejene i modellen
- **Aktørerne:** De involverede aktører i arbejdsprocessen
- **Artefakter** Værktøjer og materialer, som aktørerne anvender.
- **Push/pull udvekslingspile:** Viser, om aktørerne leverer eller henter informationer fra artefakterne, og om information ”trækkes” ud af andre aktører eller ”skubbes” til andre aktører (Beyer & Holtzblatt, 1998).

Sekvensmodel:

Denne model repræsenterer trin-for-trin handlinger om, hvorledes en given opgave udføres. Dette er et vigtigt redskab for at kunne optimere arbejdsgangen. Modellen udarbejdes på baggrund af en workshop, som beskrives yderligere i afsnit 3.1.1. Sekvensmodellen indeholder følgende prædefinerede elementer:

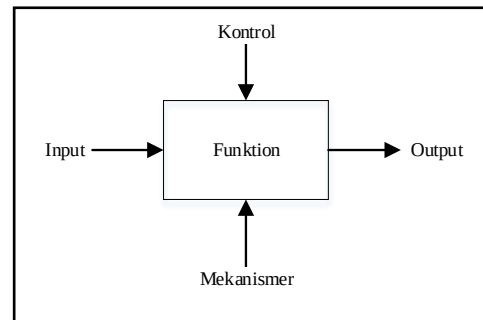
- **Handling (step):** brugerens handling, detaljeres til et passende detaljeringsniveau.
- **Udløser (trigger):** Hver handling har en hensigt

- **Hensigt (intention):** hver handling har en primærhensigt, altså grunden til, at brugeren foretager handlingen.

Når en sekvensmodel skal udarbejdes, er det vigtigt at få defineret detaljeringsniveauet. I denne rapport vil sekvensmodellerne være baseret på arbejdshandlingen, altså til at opnå forståelse for de handlinger, som sker i forbindelse med arbejdet med kvalitetsvurderinger. Nedbrud der opstår i forbindelse med handlingerne illustreres ved et rødt lyn (Beyer & Holtzblatt, 1998).

IDEF0 modellen:

Modellen er en repræsentation af et produktionssystems funktionelle sammenhæng, der beskriver hvad systemet består af, hvad det udfører og hvilke emner systemet arbejder med. Modellen beskriver funktioner (handling /aktiviteter), omgivelser, samt objekter og informationer, der forbinder disse funktioner. IDEF0 anvendes til detaljeret workflowbeskrivelse, der illustrerer sammenhængen mellem funktioner i systemet. Boksen illustrerer en konkret funktion, hvor de fire pile er de data eller informationer, der påvirker funktionen. (Rasmussen, 1996).



Figur 2-2 IDEF0-opbygning - (Rasmussen, 1996)

- **Kontrol:** Angiver data (betingelser, forhold), der styrer (begrænser) funktionen.
- **Input:** Angiver data, som aktiviteten bearbejder/ændrer.
- **Output:** Angiver data, som aktiviteten resulterer i.
- **Mekanisme:** Angiver det udstyr, der anvendes ved udførelsen af aktiviteten (Rasmussen, 1996).

2.2 LFA-metoder

Data til udformning af konceptmodellerne indsamles ved anvendelse af Logical Framework Approach (LFA), interviews og informationssøgning, som beskrives nedenfor. LFA er et supplement til contextual design.

Problem- og måltræ

Problem- og måltræ anvendes på to forskellige måder, dels som redskab til identificering af problemstillingerne i projektets indledende faser, og dels for at undersøge mulige løsninger til problemerne. Til at udforme projektets problem- og måltræ tages der udgangspunkt i *Guide to The Logical framework Approach* (European Integration Office, 2011). Problemtræet er udformet således, at årsager og konsekvenser er underopdelt i henholdsvis teknologiske- og menneskelige faktorer, hvilket skal bidrage til, hvorvidt problemstillingen er af menneskelig og/eller teknisk karakter.

Måltræet er principielt en direkte modsætning af problemtræet, som er rettet mod at identificere mål for projektet.



Interessentanalyse:

Projektet anvender en problemorienteret interessentanalyse, hvis formål er at identificere interessenter i forbindelse med problemfeltet. Denne type af analyse kortlægger interessenters påvirkningsgrad og interesse i at løse problemet (Kousholt, 2014). Denne analyse bidrager til udvælgelse af de mest relevante interessenter til interviews, så deres viden og erfaringer kan indarbejdes i et eventuelt løsningsforslag.

2.3 Interviewmetode

Gennem interessentanalysen identificeres de mest relevante informanter, som kan bidrage til at definere projektets problemfelt. I denne forbindelse gennemføres der 3 interviews. Interviewene skal tjene flere formål, dels at identificere nuværende arbejdsprocesser, men også at indsamle viden og erfaringer inden for problemfeltet.

Der anvendes semistrukturerede narrative forskningsinterviews, for at få informanterne til at fortælle om deres observationer og tanker om deres arbejdsprocedure. Da interviewmetoden er semistruktureret, stilles der åbne og vejledende spørgsmål, hvis rækkefølge ikke er bestemt på forhånd. Dette stiller store krav til interviewerens, hvorfor der er udarbejdet interviewguides med foruddefinerede spørgsmål, der adresserer problemfeltet (Brinkmann & Kvale, 2009).

2.4 Litteraturstudie

Til litteraturstudiet er Aalborg Universitets online søgebibliotek "Primo" anvendt, hvor specifikke nøgleord har dannet grundlag for forskellige boolean-kombinationer. De primære kvalitative kilder til litteraturstudiet har været videnskabelige artikler, fagbøger og konference abstracts.

Tillige vil litteraturstudiet indeholde analyser og anvendelse af forskellige brancheorganisationers vejledninger og standarder, således problembearbejdningen er baseret på offentligt tilgængelige standarder. Projektet har herudover anvendt kvantitative data fra brancheorganisationernes surveyundersøgelser og case virksomhedens egenproducerede data.

3 Problemanalyse

Formålet med afsnit 3 er at analysere mulighederne for at lave en automatisk validering af BIM data og formidling af analyseresultaterne til de relevante interessenter. Der vil blive taget udgangspunkt i de identificerede problemstillinger, som blev belyst i afsnit 1.3.

Problemanalysen er overordnet delt op i to dele med en række underafsnit:

Del I er en baggrundsanalyse, der har til formål at belyse forudsætningerne for projektets løsningsforslag.

- Afsnit **3.1** indeholder en behovsafklaring. Behovsafklaringen for det kommende løsningsforslag adresseres ved inddragelse af brugerne gennem en workshop. Her vil problemstillingerne ved den nuværende arbejdsproces for BIM-validering hos MTH blive analyseret. De fundne problemstillinger vil danne grundlag for at optimere arbejdsprocedurerne. Workshopen vil ligeledes danne grundlag for udvælgelse af en række kravspecifikationer til det kommende løsningsforslag.
- I afsnit **3.2** belyses teorier og metoder inden for BIM-baseret modelkontrol. Formålet med afsnittet er at give en forståelse for regelkontrol processer og regelkodning, samt hvilke forudsætninger løsningsforslaget skal opbygges omkring.
- I afsnit **3.3** analyseres IKT-aftalen og dens relaterede specifikationer, samt byggebranchens BIM-modenhedsniveau i forhold til teorierne i afsnit 3.2.
- I afsnit **3.4** undersøges det, hvordan der kan skabes interoperabilitet mellem løsningen og forskellige modelleringsapplikationer gennem åbneudvekslingsformater.
- I afsnit **3.5** udarbejdes en opsamling på analysen i del I.

Del II er en analyse af de teknologiske faktorer ved validering af dataindholdet i BIM.

- I afsnit **3.6** analyseres eksisterende softwareapplikationer til BIM-baseret modelkontrol. Formålet er at finde frem til om nuværende software kan anvendes i løsningsforslaget.
- I afsnit **3.7** analyseres forskelligt software til visuel programmering. Der findes i afsnittet frem til, hvordan en prototype til BIM-baseret modelkontrol kan udvikles gennem visuel programmering.
- Afsnit **3.8** belyser, hvordan valideringsresultaterne kan visualiseres på en informativ måde. I denne forbindelse vil brugerne igen blive inddraget ved opsætningen af digitale dashboards til projektets prototype.

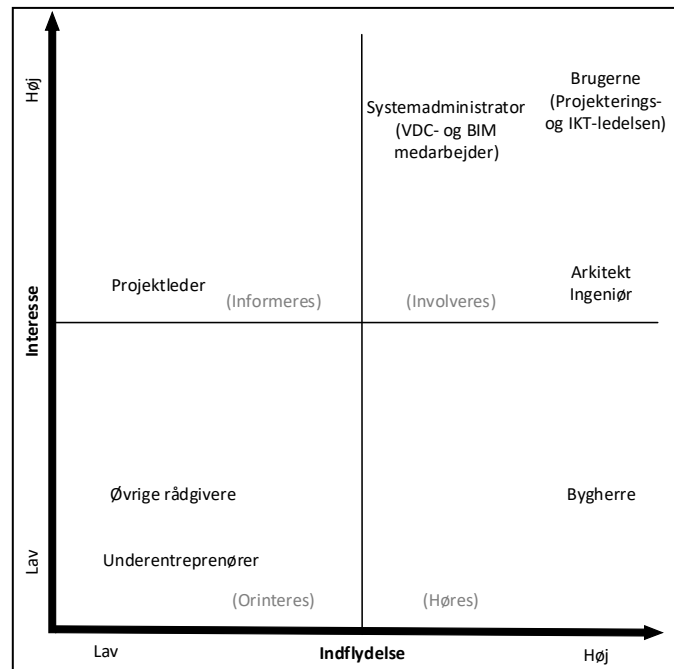
Del I: Baggrundsanalyse

3.1 Behovsaflklaring

I afsnit 1.2 blev det belyst, at formålet med indeværende projekt er at udvikle en teknisk løsning, der automatisk kan kvalitetsvurdere dataindholdet i BIM løbende gennem projekteringsfaserne. Interessentanalysen, i Figur 3-1, har identificeret to brugergrupper af det kommende system. Dels er der systemadministratorerne, som har ansvar for at opsætte og vedligeholde den tekniske del af systemet, og dels er der projekterings- og IKT-ledelsen, der skal anvende og tage beslutninger på baggrund af systemets analyseresultater. Andre væsentlige interessenter er rådgiverne (arkitekter og ingeniører) der modellerer BIM-modellerne.

Med afsæt i interessentanalysen, er der:

1. Afholdt interviews med to BIM-managere fra henholdsvis Årstiderne Arkitekter og CF Møller, samt en BIM-koordinator fra MTH.
2. Afholdt en workshop med kerneinteressenterne, hvor fire VDC-specialister deltog – to af dem med erfaringer i IKT- og projekteringsledelse. De kan herved både anses som brugere og systemadministratorer af et fremtidigt system. Formålet med workshopen var dels, at identificere problemstillinger ved nuværende arbejdsprocesser, og at afklare hvilke behov det fremtidige system skal afdække - i henhold til Contextual Inquiry i Contextual Design metoden.



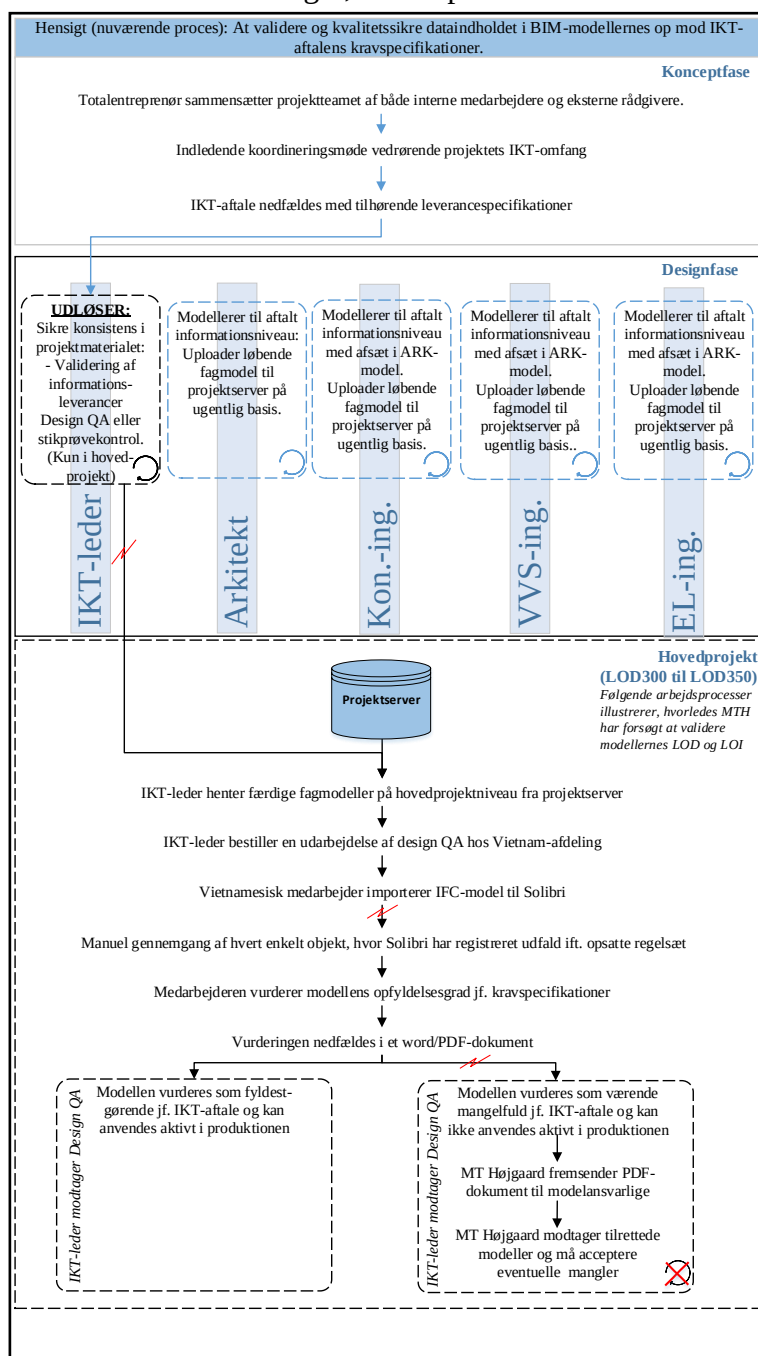
Figur 3-1 Interessentanalyse

3.1.1 Sekvensmodel over nuværende arbejdsprocesser

De eksisterende arbejdsprocesser er identificeret og konsolideret gennem ovennævnte workshop. Sekvensmodellen vist i figur 3-2 illustrer de trin-for-trin handlinger, som opstod i forbindelse med MTH's forsøg på validering af BIM dataindhold. Modellen er opdelt i tre områder: *Konceptfase*, *Designfase* og *Hovedprojekt*⁸. Selve datavalideringen har fundet sted i hovedprojekt.

Konceptfasen (modellens øverste indramning) starter ved, at totalentreprenøren sammensætter et projektteam bestående af interne medarbejdere samt eksterne rådgivere. Totalentreprenøren afholder i samarbejde med underrådgiverne et indledende koordineringsmøde vedrørende projektets IKT-omfang.

På baggrund af koordineringsmødet nedfældes en IKT-aftale med tilhørende leverancespecifikationer, der definerer, hvilket informationsniveau modellerne skal modelleres til i de forskellige designfaser. Selve **designfasen** (modellens midterste indramning) er normalt opdelt i yderligere fire faser⁹. Handlingerne som er knyttet til de forskellige faser, er hovedsageligt identiske fra fase til fase, hvor forskellen principielt er afklaringsgraden, detaljeringsgraden og informationsindholdet. Ved faseskift, eller oftere, vil IKT-lederen udføre en konsistens- og kollisionskontrol for at sikre konsistens og entydighed i projektaterialet. Udløseren til validering og kvalitetssikring af BIM opstår alle-



Figur 3-2 Sekvensmodel for eksisterende arbejdsprocesser ved validering og kvalitetssikring af dataindholdet i BIM

⁸ Koncept: indrammet med grå linjer. Designfasen: indrammet med sorte linjer. Hovedprojekt (trin-for-trin handlingen): Indrammet med sorte stiplede linjer

⁹ Dispositionsforslag, projektforslag, myndighedsprojekt og hovedprojekt

rede i den tidlige designfase, da IKT-lederen sjældent eller aldrig sikrer, at modellerne overholder de aftalte leverancespecifikationer.

Som tidligere nævnt, har MTH forgæves forsøgt at kvalitetssikre BIM-modellernes informationsindhold, hvilket er illustreret med sort stiplede indramning i figur 3-2's nedre del. Processen finder kun sted i **hovedprojektet**, hvor IKT-lederen fremsender IFC-bygningsmodeller og notat for kvalitets sikringens omfang til MTH's Vietnamesiske afdeling. Den ansvarlige vietnamesiske medarbejder importerer modellerne til Solibri Model Checker¹⁰, hvoraf Solibri semiautomatisk udføre et BIM-baseret modelkontrol til hvert enkelt bygningsobjekt. Dette sker med afsæt i MTH's udarbejdede regelsæt-skabeloner¹¹. Registrerer Solibri udfald, skal medarbejderen manuelt gennemgå de enkelte bygningsobjekter, hvilket er en ressourcekrævende arbejdsproces, da en fagmodel kan indeholde flere tusinde objekter. Efterfølgende vurderes modellens opfyldelsesgrad jf. IKT-aftalen på en skala fra 1 til 5, samt dens egnethed til eksempelvis 4D-simuleringer, modelbaseret opfølgning, økonomistyring m.fl. Resultaterne af rapporteres i et PDF-dokument, med tillæg af en bilagsrapport fra Solibri med registrerede mangler/fejl. Hvis modellen vurderes som mangelfuld, fremsendes PDF-dokumentet og bilagsrapporten til underrådgiverne. Nogle gange retter rådgiverne manglerne, hvilket kan være en større opgave afhængigt af projektets omfang. Andre gange må MTH acceptere alle eller dele af manglerne.

Sekvensmodellen synliggør flere problemstillinger:

- Ingen løbende datavalidering: Modellernes dataindhold valideres kun ved udgangen af hovedprojektet, hvilket kun giver et øjebliksbillede af BIM-modellernes samlede performance.
- Ingen eller misvisende analyser og simuleringer i de tidlige faser: Manglende og fejlbehæftede data opfanges først i hovedprojektet.
- Ressourcekrævende: Modelvalideringen tager i gennemsnit én arbejdsuge, hvilket afspejler at processen er baseret på manuelle ressourcekrævende arbejdsprocesser – selve kvalitetsvurderingen koster projektet 10.000 kr. pr. gang.
- Dårlig kommunikationsmodel: Afrapporteringen kan være op til 100 sider, og er kilde for dårlig kommunikation og derved opnås den ønskede effekt ikke.

Sekvensmodellen afspejler MTH's forsøg på at implementere en kvalitetsvurderingsprocedure for BIM-modellernes dataindhold. Processen indbefatter tunge manuelle arbejdsprocesser, som ønskes automatiseret.

¹⁰ Solibri Model Checker muligheder og begrænsninger vil blive analyseret i afsnit 3.6.1

¹¹ Tilblivelsen for opsatte regelsæt vil blive yderligere analyseret i afsnit 3.6

3.1.2 Fastlæggelse af interessenterne kravspecifikationer

Til workshoppen blev interessenterne kravspecifikationer tillige identificeret, tabel 3-1.

Kriterier	Krav
Datakilde	Systemet skal kunne håndtere data fra forskellige modelleringsapplikationer.
Eksekvering	Gerne fuldautomatisk.
Formål	At validere og kvalitetssikre BIM-modellers dataindhold op mod det aftalte i IKT-aftalen.
Monitorering	Systemet skal kunne gemme tidligere analyseresultater, og monitorere modellernes udvikling løbende gennem projekteringen. Skal anvendes som støtteværktøj til IKT- og projekteringsledelsen.
Resultatformidling	Skal kunne videreformidles til systembrugerne på en let forståelig måde (gerne gennem digitale dashboards).
Større fleksibilitet i regelsæt	Systemet skal være fleksibelt, hvor flere parametre af samme anvendelse kan indlejres i et og samme regelsæt og samtidigt kontrollere om egenskabsværdierne er korrekte. MTH oplever ofte, at parametre navngives inkonsistent f.eks. kan klassifikationskoder både forekomme som type code, BIM7AA eller keynote parameter, men også at typekoden er forkert.
Ændringshåndtering	Regelsættene skal gerne være generelle, således at projektspecifikke ændringer minimeres.
Rammer for valideringstjek	Udgangspunkt i MTH's 12 simple modelleringsdiscipliner. Detaljeringsgrad og informationsindhold iht. IKT-aftale og leverancespecifikationer.

Tabel 3-1 Kravspecifikationer identificeret af interessenterne

Tabellen illustrer de overordnede krav til den samlede proces for automatisk validering af BIM-dataleverancer. Rammerne for valideringskontrollen er, som belyst i tabellen ovenfor, MTH's 12 modelleringsdiscipliner. Grundet omfangsmæssige årsager blev der til workshoppen identificeret, hvilke af de 12 modelleringsdiscipliner, som var essentielle for løsningen. Her blev følgende seks modelleringsdiscipliner udvalgt:

Modelleringsdiscipliner	Forklaring	Kategorisering
Modellen består af objekter	Objekter skal repræsentere bygningsdele. Generiske objekter og model-in-place skal elimineres.	Geometrisk
Objekter anvendes til deres formål	Objekter må kun bruges til deres formål. Eksempel: Et væg-objekt må kun anvendes til vægge.	Geometrisk
Objektnavngivning skal være konsistent	Objekter af samme type og formål skal navngives konsistent og navnet skal indeholde en klassifikationskode	Geometrisk
Modellen har egenskaber	Modeller indeholder aftalte egenskaber.	Information
Objekter er forbundet til den rigtige etage	Objekter skal være tilknyttet den etage, de tilhører.	Geometrisk
Objekter har en klassifikationskode	Objekter har en tilknyttet klassifikationskode.	Klassifikation

Tabel 3-2 – De seks vigtigste af MTH's regler for valideringskontrol (MT Højgaard A/S, 2017a)

Ovenstående modelleringsdiscipliner har dannet ramme for de Solibri regelsæt-skabeloner, som MTH har anvendt i arbejdsprocesser beskrevet i sekvensmodellen (figur 3-2). For at lette overskueligheden blev modelleringsdisciplinerne opdelt i 3 kategorier: geometrisk, information og klassifikation. I det følgende vil BIM-baseret modelkontrol blive analyseret. Formålet med analysen er at forstå, hvad BIM-baseret modelkontrol er, og identificere de væsentligste barrierer.

3.2 BIM-baseret modelkontrol

BIM-baseret modelkontrol (*BIM-based model checking/BMC*) er en nødvendighed, hvis BIM skal udnyttes til sit fulde potentiale. Charles Eastman udtalte følgende i statusrapporten af McGraw-Hill Construction (2012):

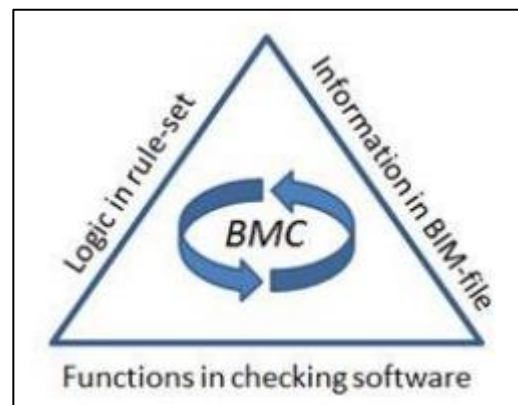
“There are two big needs. One is model checking to validate the information in a model that we’re relying on for estimation, scheduling and other critical functions. The second is better interoperability.” (McGraw-Hill Construction, 2012)

Udtalelsen synliggør et væsentligt behov for at kontrollere, og validere informationer i de 3D objekt-baserede modeller. BIM-paradigmeskiftet betyder, at BIM generer og beriges med data som aldrig før. Det stigende fokus på I’et i Building Information Model har medført et behov for at kontrollere informationernes beskaffenhed. Det anslås derfor, at BIM-baseret modelkontrol vil blive en mere integreret del af BIM-arbejdsprocesser og en ”game changer” for fremtiden i bygge- og anlægsbranchen (Hjelseth, 2015). Formålet med BMC er at udforske indholdet af både geometriske og ikke-geometriske data i BIM-modeller, således at der skabes en datatransparenthed gennem hele byggeriets levetid.

Det stigende behov har affødt en stor efterspørgsel på softwareapplikationer til automatisk BIM-baseret modelkontrol. Behovet er forsøgt imødekommet af flere kommercielle softwareudbydere såsom *Solibri Model Checker*, *FORNAX*, *EDModelChecker*, og tillige af ikke-kommercielle initiativer såsom *SMARTcodes af International Code Council (ICC)* og *CORNET e-PlanCheck*¹².

Komponenterne i et BMC-system kan overordnet opdeles i tre elementer: software, regelsæt og BIM-filen. figur 3-3 illustrer integrationens relationer mellem logikken i et regelsæt, indholdet af informationer i en BIM-fil og funktionerne i modelkontrol software:

- Software inkluderer funktioner, der muliggør import af BIM-filer, eksekvering af regler og præsentation af analyseresultater.
- Informationerne i BIM-modellen(filen), er essentielt for et retvisende resultat. Informationerne skal forstås ved modelstrukturen og modelindholdet i en



Figur 3-3 Udvikling af BMC løsninger illustreret ved interaktion mellem regelsæt, BIM-filen og kontrolsoftwaret - (Hjelseth, 2015)

¹² Nogle af disse softwareapplikationer vil blive analyseret yderligere i afsnit 3.6

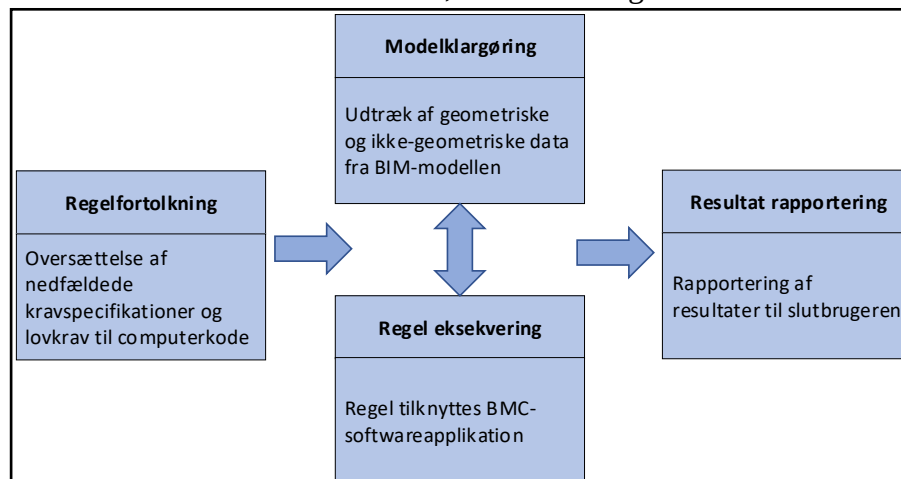
3D-objektbaseret model. I denne sammenhæng pointeres det, at BIM-modellen skal afspejle de aftalemæssige kravspecifikationer, for at undgå ”garbage-in-garbage-out”.

- Regelsæt indeholder regelkoder, som kan variere i kompleksitet afhængigt af formål. Der kan være forskellige formål: konsistens- og kollisionskontrol, space validering, versions sammenligning og ikke mindst datavalidering. Flere af de tidligere nævnte softwareapplikationer indeholder regelsæt-skabeloner, der kan tilrettes afhængigt af kravspecifikationerne til det specifikke byggeri.

BMC-systemer kan være baseret på forskellige platforme, heriblandt plug-in applikation til modelleringssoftwaret, stand-alone applikation, der kører på det enkelte hardware, eller en web-baseret applikation (Hjelseth, 2015).

3.2.1 Processer i regelkontrol

Eastman, Lee, Jeong, & Lee, (2009) har gennem en større litteraturgennemgang uddraget en gængs struktur for implementering af et funktionelt *rule checking* og *reporting* system. Regelkontrol (Rule checking) kan overordnet struktureres i fire faser, illustreret i figur 3-4



Figur 3-4 Regelkontrollen kan opdeles i fire overordnet faser - mod. efter (Eastman et al., 2009).

Regelfortolkning sker med afsæt i lovgivning, standarder eller andre kravspecifikationer, som er repræsenteret ved ”human language formats”. Formålet med regelfortolkningen er at omformulere disse tekster til computerkoder. Regeloversættelsen består af to aspekter, dels den kontekst, hvor reglen skal anvendes, og dels de parametre som reglen skal behandle. Da regelkoderne baseres på geometriske og ikke-geometriske egenskabsdata, er det essentielt at parametrene er tilgængelige i BIM-modellerne. Det er derfor nødvendigt at skabe en fællesforståelse/-grundlag for parameternavngivning, informationsindholdet og modelstruktur i projekteringsorganisationen.

Dette er nemmere sagt end gjort, da en projekteringsorganisation sjældent er ens fra projekt til projekt. Projekterende virksomheder adopterer og udvikler interne standarder for modellering, modelstruktur og parameternavngivning med en målsætning om øget produktivitet og indtjening. Dette kan besværliggøre bestræbelserne på at skabe en fællesforståelse.

Regelfortolkning er et komplekst problemfelt, da flere forhold gør sig gældende. Lovgivning, standarder og kravspecifikationer kan overordnet opdeles i kategorier, der påvirker måden, hvorpå regler tolkes:

- For alle bygninger: Generelle lovgivningsmæssige forhold, der gælder for alle byggerier på brancheplan.
- For den specifikke bygningstype: Lovgivningsmæssige forhold, der gør sig gældende afhængigt af byggeriets anvendelse og udformning.
- For det specifikke byggeprojekt: Projektspecifikke krav, såsom bygherres kravspecifikationer til arkitektur, rumopdeling, materiale m.fl. (Eastman et al., 2009). Afhængigt af bygherres digitale ambitioner, kan der her forelægge en IKT-aftale, som definerer specifikke kriterier til informationsleverancer.

Kategorierne viser, at regelfortolkning og derved regelkodning er dybt indlejret i flere kontekstuelle forhold, hvilket besværliggør opsætningen af universelle regelsæt, der kan anvendes på tværs af projekter (Eastman et al., 2009). Det er en nødvendighed at få planlagt informationsindholdet og strukturen i BIM, da regelkoderne baseres på prædefinerede kriterier. Hjelseth, Dimyadi, & Solihin, (2016) pointerer særligt én kerneproblemstilling, nemlig at regelkoder er dybt afhængige af en række prædefinerede kriterier/parametre - hvis parametrene ikke er tilstede, kan regelkoderne ikke eksekveres.

Modelklargøringen afhænger af modelkontrollens formål. Det er nødvendigt at få udtrukket relevante geometriske og ikke-geometriske egenskaber, som regelkoderne skal behandle. Ligeledes er det en nødvendighed at sikre en fælles datastruktur, så regler kan eksekveres uafhængigt af modelleringsapplikationers oprindelige filformat.

Ved **regel eksekvering** samles regelkoderne og den klagjorte model for at eksekvere reglerne. Eksekveringen af reglerne kan foretages i de tidligere nævnte BMC-systemer.

Resultatrapporteringen kan være af forskellige karakter, afhængigt af formål. Resultatrapportering skaber ny indsigt og viden om BIM-modellens kvalitet som projektorganisationen kan agere med afsæt i. Afhængigt af BMC-softwareapplikationens funktionalitet, kan analyseresultaterne kommunikeres direkte til den oprindelige modelleringsapplikation, ved anvendelse af BCF-formatet (Building Collaboration Format) eller tekstbaserede dokumenter (Eastman et al., 2009). Et fællestræk for resultatrapportering er, at de giver et øjebliksbillede af BIM-modellens beskaffenhed.

Ovenstående viser, at nogle af de essentielle udfordringer ved regelkontrollen er regelkodning, som er baseret på regelfortolkning, hvilket besværliggør opsætningen af universelle regelsæt. Herudover skal der sikres en fælles datastruktur, så regler kan eksekveres uafhængigt af modelleringsapplikationers oprindelige filformat.

3.2.2 Koncepter til regelkodning

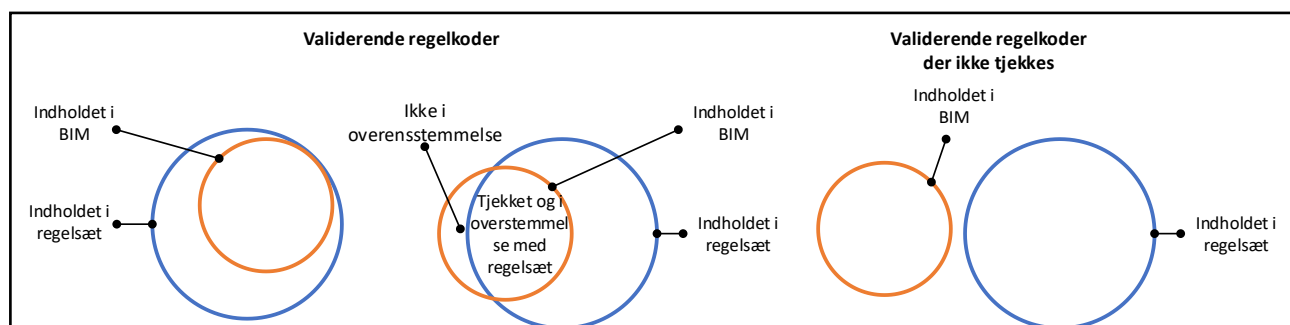
I dette afsnit analyseres, hvilke koncepter der eksisterer indenfor regelkodning, der anvendes i ovennævnte BMC-systemer. Hjelseth et al., (2016) har kategoriseret og identificeret forskellige typer af regelkoder, hvilket resulterede i fire koncepter vist i tabel 3-3:

Intentionen	Resultat	Forklaring
Validerende	Sand/Falsk	Denne type regelkode sammenholder modellen op mod prædefinerede kriterier.
Indhold	Tilstede/Manglende	Denne type tjek kan sammenlignes med "Validerende". Forskellen er, at regelkoden undersøger, hvorvidt informationer er tilstede eller ej med afsæt i prædefinerede kriterier.
Guidende	Forslag	Denne type tjek indeholder to elementer: (1) regler, der identificerer situationer, hvor objektet ikke overholder de prædefinerede kriterier og (2) regler, der foreslår en løsning på problemet.
Tilpassende	Tilpasset objekt	Denne type tjek omhandler, at systemet selv kan identificere dybere sammenhænge i modellen og herved selv kan udforme et tilpasset regelsæt med afsæt i modellens kontekst.

Tabel 3-3 Koncepter indenfor regelkoder – mod. efter (Hjelseth et al., 2016)

Koncepterne er udredt gennem et omfattende litteraturstudie, og har forskellige anvendelser afhængigt af deres formål.

Intentionen ved **Validerende** kontrol kan være alt fra verificering af designløsninger (bygningssudformning) til kontrol af datakvaliteten i BIM. Regelkoder kan dermed både være af geometrisk og informativt art. Denne type regelkoder kan variere i kompleksitet, lige fra kontrol af parameterets beskaffenhed til et komplekst modeltjek af bygningers tilgængelighedsforhold eller flugtvejsforhold, hvor flere lovgivninger eller standarder gør sig gældende. Fællesnævneren for validerende regelkoder er, at koderne baseres på en række prædefinerede kriterier, hvor regeleksekveringen kan være af tre udfald: Sand, Falsk eller ikke tjekket. Regelkoder der "ikke tjekkes" kan forekomme af to grunde, hvilket er illustreret til højre i figur 3-5. Den ene grund er, at de prædefinerede kriterier(parametre) regelkoden bygges på, ikke eksisterer i den digitale model. Den anden grund er, at parametrene ikke indeholder en værdi.

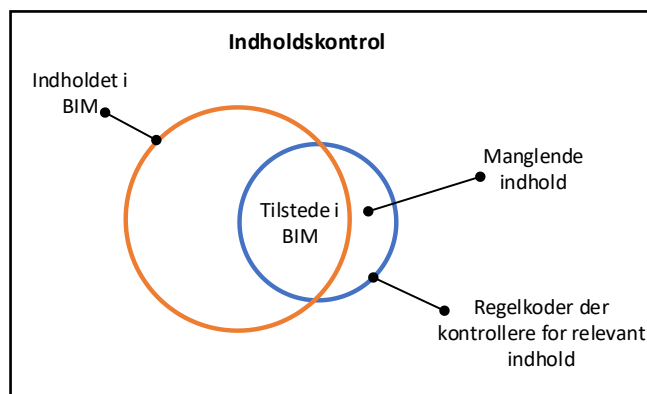


Figur 3-5 Valideringskontrol illustreret som Venn diagrammer – mod. efter (Hjelseth et al., 2016)

Ovenstående er grunden til, at Eastman *et al.* (2009) pointerede nødvendigheden af at skabe en fællesforståelse/-grundlag i projekteringsorganisation for parameternavngivning, informationsindhold og modelstruktur.

Problemstillingen ved manglende parametre kan imødekommes ved at udføre **Indholdskontrol**. Indholdskontrol har til hensigt at undersøge om ovennævnte prædefinerede kriterier/parametre er tilstede eller ej. Det er en selvfølgelighed, at indholdskontrollkoder kun kan udformes, hvis informationsindholdet til hver enkelt projekteringsfase er koordineret og nedfældet i en række kravspecifikationer.

En kombination af validering og indholdsregelkode, vil resultere i en mere fuldendt BIM-baseret modelkontrol. Både validerings- og indholdskontrol anvender såkaldte if-then-statements (conditional statements) til regelkodning. Denne type af statements er let fortolkelig for mennesket, og kræver derfor ikke større programmeringskompetencer (Hjelseth et al., 2016).



Figur 3-6 Princip for indholdskontrol – mod. efter (Hjelseth et al., 2016)

Tilpassende regelkodning er et nyt emne for udforskning og derfor meget begrænset beskrevet i litteraturen. Denne type regelkoder er baseret på algoritmer og matematiske modeller. Koderne behandler både geometriske og ikke-geometriske egenskaber. Essensen ved tilpassende regelkoder er, at koderne automatisk tilpasser sig ændringer i designet eller andre kontekstuelle forhold. Der findes få praktiske eksempler på anvendelse af tilpassende regelsæt. Et eksempel er den parametriske modelleringsapplikation Revit, der indeholder en integreret funktion som kan håndtere objekters interne relationer og opførsel. Funktionen er udviklet ved at implementere matematiske formler til den enkelte objekttype (Hjelseth et al., 2016). Vogt, Norvik, & Mobakk (2016) har fremvist gode resultater, hvor stilladsobjekter i Revit er tillagt byggetekniske sikkerhedsforhold jf. lovgivningen. De integrerede regelkoder betyder, at Revit giver den projekterende rådgiver en meddelelse, hvis stilladshøjden overstiger de lovgivningsmæssige bestemmelser. Tilpassende regelsæt kan defineres ved, at computeren selv ”lærer” af data og herved kan opsætte *best practice rules*.

Intentionen med **Guidende** regelkoder er at hjælpe brugeren til at udforske et større antal løsninger. Denne type kontrol bygger på erfaringsdatabaser, hvori tidligere løsninger er lagret, og herved danner grundlag for at guide brugeren til en løsning på en given problemstilling. Denne type regelkodning er stadig meget umoden, og derfor ikke implementeret i eksisterende BMC-systemer. Regelkoderne udredes gennem erfaringsdata og algoritmer, som kan identificere dybere sammenhænge i modellen og herved selv tilpasse regelsættet med afsæt i modellens indhold (Hjelseth et al., 2016).

Hjelseth et al., (2016) konkluderer i forlængelse af undersøgelsen, at eksisterende softwareapplikationer til BIM-baseret modelkontrol/regelbaseret modelkontrol er begrænset til validerings- og indholdskontrol.

I det følgende søges en afklaring på, hvorledes IKT- og projekteringsledelsen (systembrugeren) kan stille krav til modellernes geometriske og ikke-geometriske dataindhold. Dette gøres med henblik på at forstå, hvilke data der kan forventes i fremtidige projekter. Efterfølgende analyseres branchens BIM-modenhedsniveau med henblik på at skabe en indsigt i håndtering af modelleringsgrænseflader, der påvirker modellernes geometriske fremtræden.

3.3 Aftalegrundlag og Building Information Modeling

I det følgende afsnit analyseres IKT-aftalen og dets relaterede specifikationer. I forrige afsnit blev det fastslået at det er nødvendigt, at skabe en fælles forståelse/grundlag for informationsindholdet og modelstrukturen i BIM, da regelkoder er dybt afhængige af, at data er tilgængelig. IKT-aftalen har til hensigt at skabe en fælles forståelse i projektorganisationen, men er tillige fundamentet for at kunne fortolke, hvilke geometriske og ikke-geometriske egenskaber, som bør være til stede i BIM-modellerne.

3.3.1 IKT-aftalen og leverancespecifikationer

Som grundlag for afklaring af IKT-ydelser anvendes ”Ydelses beskrivelsen Byggeri og Landskab 2018” (YBL18) samt ”Almindelige betingelser for rådgivning og bistand i bygge- og anlægsvirksomheder” (ABR 18). Rådgiveraftalens formål er at fastsætte ydelser omfattende alt, fra klassifikations-system til kvalitetssikring. I YBL18 fastlægges anvendelsen af informations- og kommunikationsteknologi (IKT). Hvis bygherre ønsker det, eller hvis det er påkrævet, vil der samtidigt med udarbejdelsen af førnævnte rådgiveraftale skulle udarbejdes en IKT-aftale. Anvendelsen af IKT er udelukkende et krav for offentlige og almene bygherrer. Offentlige og almene bygherrer er forpligtiget til at overholde IKT-bekendtgørelsen for henholdsvis offentligt byggeri, BEK nr. 118 og alment byggeri, BEK nr. 119.

Mens offentlige bygherrer er pålagt at anvende IKT, kan private bygherrer tilvælge IKT-aftalen. Hvis bygherrers krav til anvendelse af IKT ikke er tilstrækkeligt, kan projektets rådgivere indbyrdes indgå en aftale om anvendelse af IKT. Under interview med Mathias E. Rasmussen fra C.F Møller forklarer han, hvordan de angriber førnævnte situation:

”Vi har haft en tidligere sag hvor bygherre ingen krav havde overhovedet, så der lavede vi en IKT-aftale sammen med ingeniørerne, bare for at sikre os at vi var enige om, hvordan vi gør, hvornår vi udveksler og hvordan vi modellerer” (Rasmussen, 2018).



Molio (tidligere bips) har udformet IKT-aftalen, som anvendes til at fastlægge alt fra centralisering af kommunikation til informationsindholdet i BIM. IKT-aftalen er overordnet opbygget som et aftalesæt bestående af en ydelsesbeskrivelse, der fungerer som et aftalegrundlag mellem bygherre og rådgiver, og en IKT-specifikation. IKT-specifikationen er et standard værktøj, der gør det enkelt, at definere omfanget af IKT-ydelserne i et projekt (bips, 2016). Formålet er at sikre enighed om omfang og anvendelse af IKT-ydelserne og dermed skabe et robust grundlag for det digitale samarbejde på projektet.

Særligt punkt 4.4 i IKT-specifikationen ”Digital projektering” er relevant for dette speciales problemfelt. I afsnittet specificeres hvilket detaljeringsniveau BIM-modellerne skal imødekomme til de enkelte projektfaser, samt hvilke egenskabsdata der skal tilknyttes objekterne i BIM. Der findes flere værktøjer til definition af ovenstående, hvilket beskrives i det følgende.

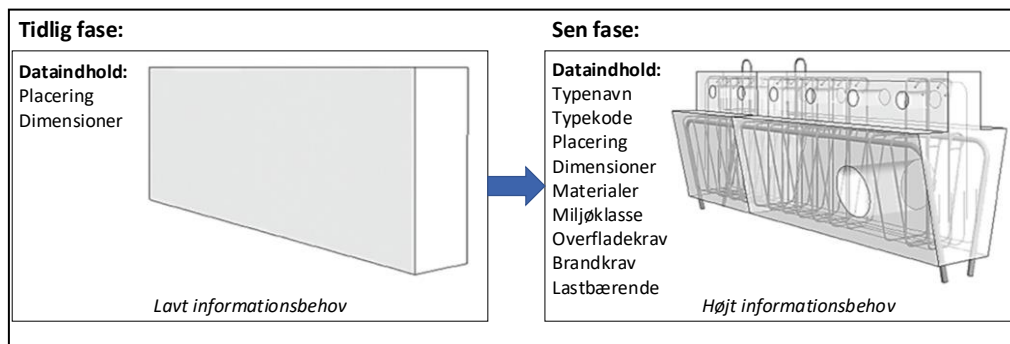
Level Of Development og leverancespecifikationer

Level Of Development (LOD) er en standard til at definere både detaljeringsgraden og informationsindholdet i BIM-modeller. LOD blev for første gang introduceret i 2004 af Vico Software (nu Trimble) ved standarden Model Progression Specification (MPS), med det formål at lette styringen af informationer i BIM. LOD-akronymet blev således brugt for første gang til at angive modellens detaljeringsniveau (Bolpagni, 2016). American Institute of Architects (AIA), udgav i 2008 sit første BIM-kontraktdokument ”AIA E202 Building Information Modeling Protocol Exhibit”. Dokumentet beskrev fem Level of Development (LOD) niveauer fra 100-500 (Yoders, 2014). Første udgave var ukonkret og uden specifikke krav til dataindholdet og uden grafisk gengivelse af objekterne, men blev i 2013 opdateret med yderligere informationer. Siden har flere brancheorganisationer forsøgt at definere og specificere LOD-niveauerne, heriblandt organisationen BIM-Forum¹³, som lancerede deres udgave baseret på AIA’s definition. BIM-Forum’s dokumenter er blevet reference for BIM standarder i flere lande som, Australien, Kina, Singapore, Canada, Taiwan, Frankrig og Tyskland (Bolpagni, 2016).

I Danmark er det forsøgt at udfærdige standarder til klarlægning af informationsniveauet i BIM. Udviklingsprojektet Cuneco¹⁴ blev igangsat for at udvikle et fælles grundlag for det digitale samarbejde i byggeriet. Samarbejdet førte blandt andet til et nyt CCS-klassifikationssystem og nye informationsniveauer. CCS Informationsniveauerne beskriver de egenskabsdata, der løbende skal tillægges et objekt gennem projektets forskellige faser. Der findes 7 informationsniveauer (1-7), der øges i takt med at projektet skrider frem og informationsbehovet konkretiseres (bips, 2014). Udviklingen og behovet for at tilknytte data til de enkelte objekter i modellen, ses illustreret i figur 3-7.

¹³ BIMForum er den amerikanske afdeling af buildingSMART. Udvikler BIM-standarder der understøtter openBIM.

¹⁴ Cuneco – center for produktivitet i byggeriet, er et udviklingsprojekt der løb frem til 2015. Drives nu af molio.



Figur 3-7 Bjælke der opnår højere informationsniveau gennem faserne - (bips, 2014)

Gennem de senere år har flere brancheorganisationer forsøgt at operationalisere informationsniveauerne her i blandt BIM7AA¹⁵ og DiKon¹⁶. BIM7AA og DiKon har i flere år hver især arbejdet med egne standarder til den danske byggebranche, men har set nødvendigheden i at samarbejde om standarder for branchen. Resultatet af samarbejdet er publikationen *Bygningsdelsspecifikationer* fra oktober 2018. Publikationens formål er at beskrive indholdet i bygningsmodellen på et givent LOD- og informationsniveau på en letforståelig måde. Helt konkret beskriver bygningsdelsspecifikationen 23 udvalgte bygningsdele. Ved en nærmere sammenligning af den fælles bygningsdelsspecifikation og BIM7AA samt DiKon enkeltstående udgaver, indeholder den nye specifikation langt færre egenskabskrav. Mads Carlsen¹⁷ forklarer under interviewet årsagen til de færre egenskaber:

”Vi besluttede os ret hurtigt for at fokusere på ydelsesbeskrivelsen punkt 9.4 omkring digital projektering. Der har været mange og lange diskussioner i arbejdsgrupperne omkring, hvilke egenskaber der hører til 9.4 ydelsen. Og det der er i det fælles dokument, det var så det vi kunne blive enige om.”(Carlsen, 2018)

Arbejdsrammerne for BIM7AA og DiKon's arbejde tager udgangspunkt i et tilvalg af ydelsesbeskrivelsen 9.4. Interviewet belyste, at samarbejdet ikke foregik gnidningsfrit, hvilket er årsagen til de færre egenskabskrav. DiKon har forsøgt at imødekomme dette ved at udarbejde et supplement til den fælles publikation, der opdeler egenskaberne i obligatoriske og valgfrie. I den forbindelse udtaler Mads Carlsen:

”I DiKon har vi et ønske om stramme kravene en smule mere, derfor er der udarbejdet et supplement, som kommer fra den fælles specifikation og så har vi påført nogle ekstra egenskabsdata, blandt andet brand og lyd. [...] I DiKon der har vi altid prioriteret at få formålsbestemt egenskaberne.” (Carlsen, 2018)

¹⁵ Et frivilligt samarbejde mellem 7 arkitekter: AART/architects, Arkitektskolen Aarhus, Arkitema, C.F. Møller, CUBO, Friis & Molkte, LinkArkitektur og schmidt/hammer/lassen.

¹⁶ En sammenslutning af Arkitema Architects, Årstidernes Arkitekter, COWI, NCC, Rambøll, Sweco og Aarsleff.

¹⁷ Mads Carlsen er medlem af DiKon og BIM-koordinator hos Årstidernes – interview forefindes i appendiks 3.

DiKon's supplement til den samlede bygningsdelsspecifikation er et ønske om at stramme kravene yderligere. Ifølge Mads Carlsen har DiKon altid lagt stor vægt på at få formålsbestemte egenskabsdata. Da formålet ved egenskaberne er tænkt ind i DiKon's supplement, vil supplementet anvendes som referenceramme for, hvilke egenskabsdata der kan forventes at være tilknyttet objekterne i BIM-modellen.

I afsnit 3.2 blev det belyst at regelfortolkning er et komplekst problemfelt, da flere forhold gør sig gældende. Herunder blev der beskrevet tre overordnede kategorier, der påvirker måden, hvorpå regler fortolkes. En analyse af de egenskabsdata der skal tilknyttes en væg i henhold til DiKon's supplement, vist i figur 3-8, illustrerer denne kompleksitet.

I forhold til **klassifikationskodning** af bygningsdele er der tale om et projektspecifikt krav for *den specifikke byggeprojekt*. Byggherre bestemmer selv hvilket klassifikationssystem (CCS, BIM7AA el.lign.) der skal anvendes i projektet.

Derimod er **brand- og lydklasse** indbefattet af nogle generelle lovgivningsmæssige forhold, der gør sig gældende afhængigt af *den specifikke bygningstype*. Eksempelvis afhænger brandforholdene af bygningens højde og om der er tale om en lagerhal eller et hotel med overnattende gæster.

Til sidst er der **U-værdi**, som beskriver bygningsdelens isoleringsevne. I bygningsreglementet (BR18) stilles der en række mindstekrav til klimaskærmens varmetabskoefficient. Der er

derfor tale om generelle lovgiv-

ningsmæssige forhold, der gør sig gældende *for alle byggerier* på brancheplan. Lovgivningen til mindste varmetabskoefficient er et minimumskrav, hvorimod u-værdierne vil udspecificeres gennem projekteringen afhængigt af energiramme. Ovenstående viser, at regelfortolkning, og derved regelkodning, er dybt indlejret i flere kontekstuelle forhold.

I næste afsnit analyseres byggebranchens BIM-modenhedsniveau, da dette også har indflydelse på, hvordan regelkoder skal opsættes.

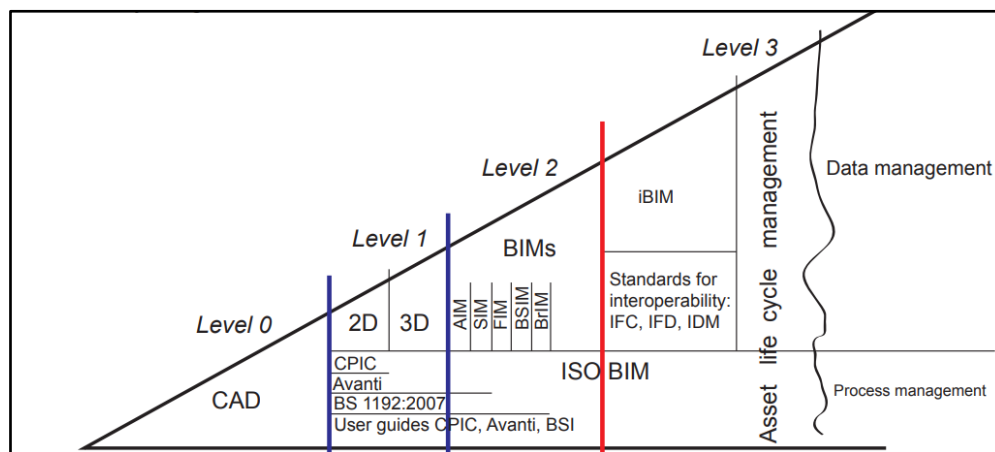
Egenskaber for Væg			
LOI 200	LOI 300	LOI 325	LOI 400
9.1 Klassifikation*			
Klassifikationskode	Klassifikationskode Type (-kode/-ID)	Klassifikationskode Type (-kode/-ID)	Klassifikationskode Type (-kode/-ID)
9.4 Digital projektering* - egenskaber med grå baggrund fra DIKON/BIM7AA LOI			
Typenavn Tykkelse	Typenavn Tykkelse	Typenavn Tykkelse Placering: Etage Konstruktionsopbygning	Typenavn Tykkelse Placering: Etage Konstruktionsopbygning
		Brandklasse Lydklasse	Brandklasse Lydklasse Entreprise
9.6 Mængdefortegnelse*			
Målerregel M_AD_11_A1 / R0	Målerregel M_AD_11_A1 / R0	Målerregel M_AD_11_A1 / R0	Målerregel M_AD_11_A1 / R0
Supplerende egenskaber (Tilvælges projektspecifikt)			
Entreprise Areal Bruttoareal Volumen Bruttovolumen Placering: Etage	Entreprise Areal Bruttoareal Volumen Bruttovolumen Placering: Etage Brandklasse Lydklasse U-værdi	Entreprise Areal Bruttoareal Volumen Bruttovolumen - - - U-værdi	- Areal Bruttoareal Volumen Bruttovolumen - - - U-værdi

Figur 3-8 DiKon's supplement for en væg - (DiKon, 2018)

3.3.2 Byggebranchens BIM-modenhedsniveau

Anvendelsen af objektbaserede parametriske modelleringsværktøjer er løbende blevet en mere integreret del af det daglige arbejde i byggebranchen. Produktet af arbejdet kendes i dag som en Building Information Model. Den danske byggebranches BIM modenhedsniveau analyseres i dette afsnit med henblik på at skabe indsigt i informationsdeling og håndtering af modelleringsgrænseflader, da dette kan have indvirkning på den geometriske regelfortolkning.

I denne sammenhæng har Royal Institute of British Architects (2012) udviklet *BIM maturity levels*, der er et hjælpeværktøj til at skabe indsigt i de modelleringskompetencer og processer, som det kræver at arbejde med BIM. Intentionen med modellen er at kunne mappe virksomhedernes BIM-modenhed. England har anvendt disse *levels* til at fremskynde den digitale udvikling i branchen, da engelsk lovgivning har stillet krav til at alt offentligt støttet byggeri fra og med 2016 skulle understøtte *level 2*.



Figur 3-9 BIM-maturity level's - (Royal Institute of British Architects, 2012)

Level 0 defineres som brugen af 2D CAD tegningsmateriale, hvor det færdige produkt vil være præget af tekstbaserede dokumenter. Denne fremgangsmetode har været anvendt i mange år. Problemstillingen ved dette level er, at der ikke findes fælles standarder eller processer. Herudover kan faggrupperne kun tilgå de data, som er tilknyttet dokumenterne (Royal Institute of British Architects, 2012).

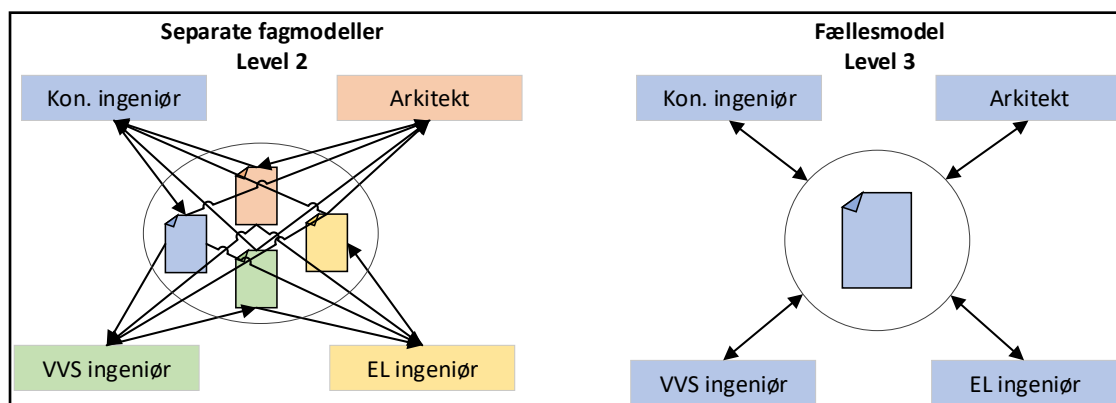
Level 1 omhandler anvendelse af både 2D tegningsmateriale og 3D modeller på projektet. Dette level refereres til som *Lonely BIM*, da modellerne ikke anvendes aktivt som informationskilde til vidensdeling af de projekterende fagdiscipliner. Her vil arkitekter typisk anvende 3D modeller til visualiseringer, men anvender 2D-formater til informationsudveksling. På dette level er der opsat fælles processer for udvekslingsformater og lagstruktur (Royal Institute of British Architects, 2012).

Level 2 omfatter, at alle projekterende fagdiscipliner producerer BIM-modeller i parametriske modelleringsværktøjer, som fremstår af separate fagmodeller. Da niveauet omhandler komplekse 3D-

modeller, stilles der krav til planlægning af informationsindhold og grænseflader. I denne sammenhæng henvises der til den engelske standard BS 1192:2007, hvilket sikrer at parterne udveksler de rette informationer til det rette tidspunkt (Royal Institute of British Architects, 2012).

Level 3 er det højeste niveau af BIM anvendelse, hvilket omhandler brugen af en samlet fællesmodel på tværs af fagligheder. Arbejdet foregår gennem en online modelserver, der understøttes af åbne udvekslingsformater f.eks. IFC¹⁸. På dette niveau kan alle tilgå informationer for hele byggeriets livscyklus, hvilket sikrer et tæt tværfagligt samarbejde fra første designudkast til senere drift- og vedligehold. Niveautet stiller store krav til koordineringen og planlægningen af ansvarsforhold, dataleverancer og modelleringsdiscipliner (Royal Institute of British Architects, 2012).

Både level 2 og 3 er baseret på anvendelsen af parametriske modelleringsværktøjer. Forskellen er måden, hvorpå modelleringsgrænseflader håndteres og informationer udveksles. Figur 3-10 illustrerer grafisk, hvordan informationer deles på tværs af faggrupper ved separate fagmodeller og en fællesmodel.



Figur 3-10 Principper for informationsudveksling ved BIM maturity level 2 og 3 – mod. efter (Osterrieder & Richter, 2004)

Flere undersøgelser viser, at der er omfattende udfordringer ved separate fagmodeller (level 2). Osterrieder & Richter (2004) fra IAI undersøgte muligheden for at anvende IFC-datamodeller som fællesmodel for det tværfaglige samarbejde. Motivationen opstod, da der på daværende tidspunkt ikke var udviklet servere til håndtering af fællesmodeller. Undersøgelsen viste, at dataudveksling gennem separate fagmodeller kan føre til, at informationer spredes udover flere modeller, som i længden kan føre til informationsforvirring. Hertil beskrives udfordringen ved redundante data, som i værste fald er modstridende (Osterrieder & Richter, 2004). Hooper (2010) argumenterer yderligere, at BIM-ideologien oprindeligt omhandlede åben viden- og dataudveksling¹⁹, men at separate fagmodeller kan føre til informationsanarki.

¹⁸ IFC beskrives yderligere i afsnit 3.4.1

¹⁹ Kendt som openBIM

Til trods for disse problemstillinger anvender den danske byggebranche stadig separate fagmodeller, hvilket blandt andet belyses gennem udtalelserne af Mads Carlsen²⁰ fra Årstiderne Arkitekter:

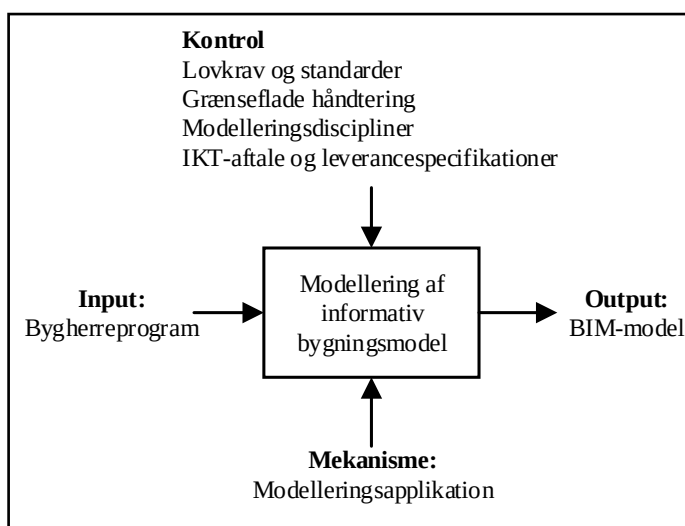
”Jeg tror ikke en fællesmodel er noget vi vil se i den nærmeste fremtid. Jeg tror selve ideen med separate fagmodeller vil fungere.”(Carlsen, 2018)

Udtalelsen belyser ikke blot at separate fagmodeller er den gængse BIM-arbejdsmetode, men også at fællesmodeller ikke kan forventes at blive anvendt i branchen i nærmeste fremtid. De øvrige interviews med Martin Kejser og Mathias E. Rasmusen understøtter Mads Carlens’ udtalelse. Hvis den ovenstående analyse skal sammenlignes med de engelsk BIM modenhedsniveauer, befinder den danske bygge- og anlægsbranche sig på *BIM Maturity level 2*.

I appendiks 4 er det beskrevet, hvordan separate fagmodeller og fællesmodeller håndteres i praksis. Heri beskrives modellering af separate fagmodeller som *dobbeltprojektering*, hvor bygningsdelenes komplette opbygning er modelleret, og informationsleverancer kan overlappe. Dobbeltprojekteringen skal forstås ved, at de projekterende faggrupper modellerer og udveksler den komplette bygningsdelskonstruktion – hvilket er den gængse praksis hos C.F. Møller udtrykker Mathias E. Rasmussen. Dette har indvirkninger på, hvilke geometriske dimensioner som kan forventes at blive leveret i fremtidige projekter, hvilket derved påvirker regelkoderne, der anvendes i BIM-baseret modelkontrol.

Ovenstående analyse med dertilhørende appendiks giver et indblik i, hvorledes fremtidige og nuværende BIM-modellers geometri vil fremstå med en forventning om, at redundant data kan forekomme.

IDEF0-modellen, vist i figur 3-11, illustrerer de kontrolparametre, der påvirker modelleringen af en informativ bygningsmodel, hvor outputet er en BIM-model. Selve mekanismen som udfører funktionen, er modelleringsapplikationer såsom Autodesk Revit, Graphisoft ArchiCAD, Tekla eller andet. I ovenstående afsnit er de kontrol- og inputfaktorer, der påvirker BIM-modellens dataindhold blevet analyseret. Alle kontrol- og inputfaktorer har stor indvirkning på de regelkoder, der implementeres.



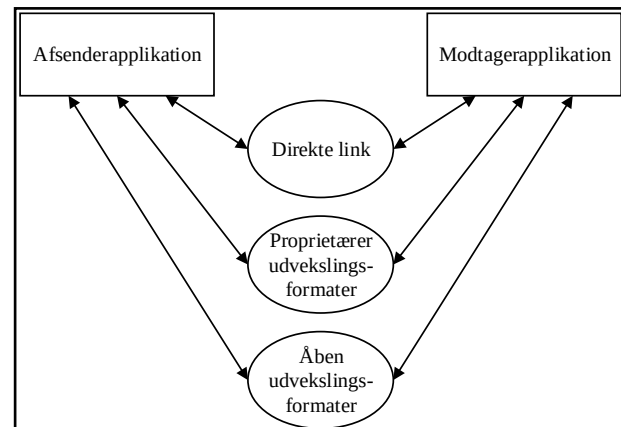
Figur 3-11 IDEF0-baseret illustration af systemets funktion ved modellering af informativ bygningsmodel

²⁰ Mads Carlsen er tillige aktivt medlem af DiKon – interview forefindes i appendiks 3.

3.4 Interoperabilitet

Interoperabilitet er evnen til at udveksle data imellem software, hvilket kan anses som en automatisering af arbejdsprocesser, da allerede generede data kan overføres til en anden software-applikation.

Interoperabilitet mellem software kan ske via tre forskellige metoder, som er illustreret i figur 3-12. Disse tre metoder beskrives kort i nærværende afsnit for at give et indblik i mulige dataudvekslingsmetoder (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011).



Figur 3-12 Metoder til dataudveksling imellem software - (Svidt, 2017)

Direkte link er også kendt under termen *Application Programming Interfacer (API)*, hvilket betyder, at en applikation anvender en anden applikations API til at overføre data. API overførelser mellem applikationer sker oftest ved *runtime*, hvilket betyder, at afsender- og modtagerapplikation er tilknyttet samme hardware (Eastman et al., 2011). For eksempel anvender Autodesk Dynamo, Revits API, til at overføre, manipulere og udtrække data.

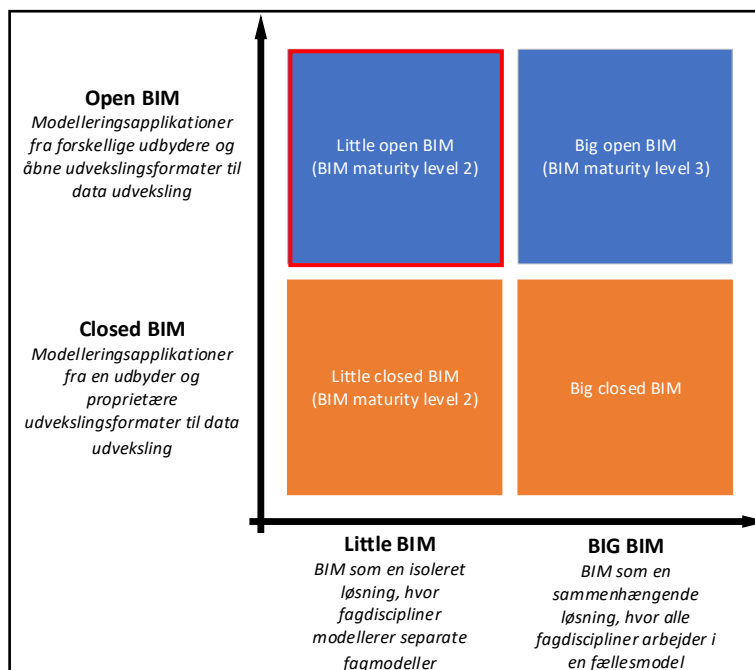
Proprietærer udvekslingsformater er oftest udviklet af de enkelte softwareudbydere, hvilket betyder, at udvekslingsformatet kun er tilgængeligt for softwareudbyderens egne applikationer (Eastman et al., 2011). Et eksempel herpå er Autodesk-produkter, som understøtter de Autodesk-udviklede dwg- og rvt-formater. Softwareudbyderne kan have interesse i at samarbejde med andre softwareudbydere, således at deres udviklede formater kan anvendes i andre sammenhænge. Eksempelvis kan Graphisoft Archicad importere Autodesks rvt-format.

Åbne udvekslingsformater har til formål at gøre dataudveksling frit tilgængeligt uafhængigt af softwaretype. Åbne udvekslingsformater, såsom *Industry Foundation Classes (IFC)*, muliggør udveksling på tværs af software, og er baseret på læse- og redigerbart kodningssprog (Eastman et al., 2011).

Udvekslingen af data i BIM kan foregå ved proprietærer og åbne udvekslingsformater. Figur 3-13 viser en matrix, der definerer de funktionelle relationer mellem udvekslingsformater og BIM som en løsning. **Little BIM** er en isoleret løsning, hvor fagdiscipliner modellerer separate fagmodeller, mens **BIG BIM** er en sammenhængende løsning, hvor alle fagdiscipliner arbejder i en central model (fællesmodel) gennem en online modelserver, som illustreret i figur 3-10. **Closed BIM** er udveksling af informationer ved proprietære filformater, mens **Open BIM** er udveksling af informationer ved åbne filformater.

Matricen viser relationen mellem disse fire termer, der fører til fire koncepter af BIM (Borrmann, König, Koch, & Beets, 2015). De tidligere beskrevne BIM maturity levels er mapet til tre af de fire koncepter for BIM. BIM maturity level 2 kan opnås både ved udvekslingen gennem proprietære- og åbne udvekslingsformater. Men som illustreret i workflowmodellen (figur 1-4) foregår dataudvekslingen i byggebranchen ved anvendelse af IFC-datamodeller. Derfor konkluderes det, at branchen anvender little open BIM, som markeret med rødt. IFC-datamodellen er et udvekslingsformat, der kan samle data uafhængigt af modelleringsapplikation. Det er derfor en løsning, der kan

imødekomme ønsket om, at prototypen skal kunne håndtere data fra flere modelleringsapplikationer. I det følgende beskrives IFC-datamodellens oprindelse, herefter analyseres selve opbygningen.

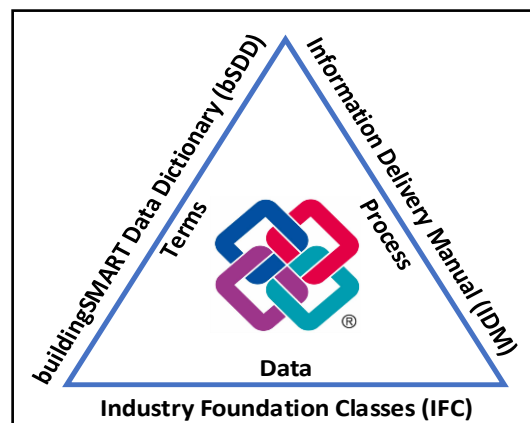


Figur 3-13 Termerne "little BIM" og "BIG BIM" beskriver brugen af BIM, mens termerne "Closed BIM" og "Open BIM" beskriver udvekslingsformaterne – mod. efter (Borrmann et al., 2015)

3.4.1 buildingSMART

Udviklingen af IFC startede i 1994 af et konsortium med Autodesk som initiativtager. Senere trak Autodesk sig fra samarbejdet og konsortiet skiftede navn til Industry Alliance for Interoperabilitet (IAI). IAI gennemgik flere organisations- og navneændringer, og er i dag kendt som nonprofit organisationen buildingSMART.

buildingSMART står for udvikling og vedligeholdelse af åbne standarder til BIM på tværs af platforme. Figur 3-14 illustrerer organisationens primære indsatsområder, som indbefatter både processer, datamodeller og termer. Til procesafklaring anvender buildingSMART



Figur 3-14 buildingSMARTs indsatsområder (buildingSMART, 2018a)

BPMN-notationen, benævnt i buildingSMART regi som IDM. IDM vedrører afklaring af informationsudvekslinger parter imellem, og omhandler interne og eksterne processer i et BIM-samarbejde. buildingSMARTs' datamodel (IFC) er et åbent udvekslingsformat, som i udgangspunktet kan indeholde og opbevare alt information for hele byggeriets livscyklus. Den sidste standard er bsDD, som

fastlægger en fælles begrebsafklaring for de informationer der udveksles, og sikre at IFC-datamodellen tolkes ensartet uafhængigt af modelleringsapplikation og sprog (buildingSMART, 2018a). Som belyst i afsnit 3.2 er regelkoder, der skal implementeres i et BIM-system er dybt afhængigt af, at data er tilgængelige, da de ellers ikke kan eksekveres. Tillige er der i ethvert byggeprojekt projektspecifikke kravspecifikationer. Det er derfor nødvendigt at forstå, hvordan bsDD egenskaber og projektspecifikke egenskaber knyttes til bygningsobjekter i IFC-datamodellen. I det følgende analyseres IFC-datamodellens opbygning.

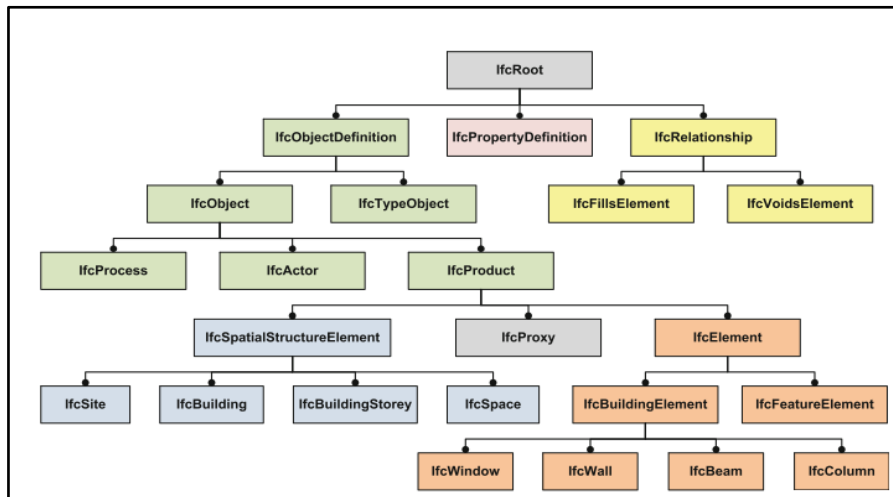
Industry Foundation Classes (IFC)

IFC-datamodellen kan forekomme ved to formater: IFC-express og IFCxml. IFCxml er oftest 300-400% større end IFC-express formatet. Tillige findes det komprimerede IFCzip-format. IFC er en objektorienteret datamodel, hvori der hersker hierarki. Opbygningen kan principielt sammenlignes med en relationsdatabase. Datamodellen er meget omfangsrig og kompleks, og er derfor struktureret i fire lag: Resource layer, Core Layer, Interoperability layer og Domain layer, som hver især indeholder forskellige skemaer med dertilhørende entiteter(classes) og attributter.

- Resource layer: er det nederste lag i IFC-datamodellen og indeholder basis data, der kan anvendes af alle efterfølgende lag. Dette lag indeholder geometriske-, materielle-, materiale-ressourcer m.fl.
- Core layer: indeholder de mest elementære classes, disse entiteter definerer basisstrukturen i IFC-datamodellen. Laget indeholder relationer og generelle koncepter, der kan anvendes af classes på de højere niveauer.
- Interoperability layer: her defineres classes ved at referere til classes fra core layer, denne type reference er kendt, som subclasses/subtypes. Interoperabilitets layer er også kendt, som *shared layer*, da skemaerne indeholder IFC-classes, der anvendes på tværs af fagdiscipliner, eksempelvis bjælker, søjle, vægge m.fl.
- Domain layer: indeholder de specialiserede classes, som kun anvendes af en specifik fagdisciplin. Dette lag er det højeste niveau, hvilket betyder, at entiteter på dette niveau ikke kan referere til andre lag, men arver entiteter fra de lavere lag (buildingSMART, 2018b).

Enhver class kan referere til en class på samme niveau eller lavere, men må ikke henvise til en class fra et højere niveau. Referencer på samme niveau skal håndteres med omhyggelighed og er kun tilladt i Core layer eller Resource layer (Wix, 2013).

I figur 3-15 er hierarkistrukturen i IFC-datamodellen illustreret. IfcRoot er den øverste entitet, og er *superclass* til alle efterfølgende entiteter, og binder samtidigt resource- og core layer sammen.

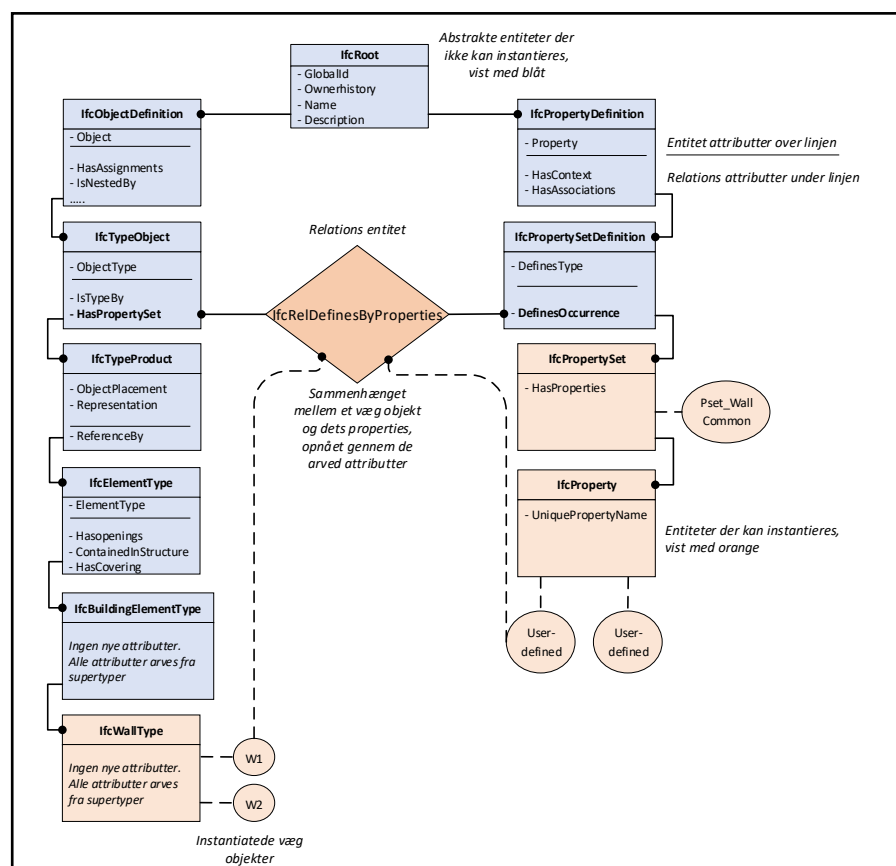


Figur 3-15 IFC-datamodellens hierarkiske opbygning - (Borrmann et al., 2015)

IFC-datamodellens hierarkistruktur og deres indbyrdes relationer kan beskrives ved et *class-subclass-relationship*. Eksempelvis er IfcObjectdefinition en class til IfcObject (og omvendt er IfcObject subclass til IfcObjectdefinition), men samtidig er IfcObject class til IfcProduct, som er subclass IfcObject. Derfor kan dette også beskrives ved et parent-child-relationship eller *Subtyping*.

IfcRoot tilknytter alle underliggende entiteter med attributterne, såsom GlobalId, Ownerhistory, Name og Description. De tre underliggende *subclasses* er, som beskrevet ovenfor IfcObjectDefinition, IfcPropertyDefinition og IfcRelationship. Disse entiteter definerer objekternes karakteristika, egenskabsværdier og deres indbyrdes relationer.

Figur 3-16 viser et tilfælde af *subtyping* for et vægobjekt og dets properties, hvilket vil sige, hvorledes en væg og properties arver sine attributter fra dets *superclasses* og hvordan de relaterer sig til hinanden. For at kunne beskrive forholdet mellem to objekter



Figur 3-16 IFC-datamodellens opbygning og relations forhold - mod. efter (buildingSMART, 2018b)

eller et objekt og dets egenskaber, starter IFC-datamodellen med at beskrive objektets placering i entitetshierarkiet (figur 3-16). *IfcWallType* er en subclass af *IfcBuildingElementType*, som igen er en subclass til *IfcElementType*. *IfcWallType* arver attributter fra alle dens superclasses helt op til *IfcRoot*. Fremgangsmåden er den samme for *IfcPropertySet*. Et instantierende *IfcWallType* betyder, at et objekt "fysiskgøres", med andre ord, er det specifikke vægobjektet visuelt repræsenteret i modellen, også kendt som en instance af en type (buildingSMART, 2018b). Når et instantieret objekt skal tillægges standard egenskaber fra bsDD eller egenskaber uden for IFC-specifikationer (user defined), skal der i denne forbindelse skabes et *relationship*. I dette tilfælde er der tale om, at relationen mellem væggen og egenskaberne *objectified relationship*, hvilket betyder relation mellem objektet og egenskaberne, håndteres ved at forandre relationen indtil et objekt. Disse relationer skaber IFC-datamodellen *spatial structure* (Nour & Beucke, 2005).

Både egenskaberne defineret i bsDD og egenskaberne uden for IFC-specifikationerne, kan have relevans for det BIM-baserede modeltjek. Brugerdefineret propertysets kan både være genereret af modelleringsapplikationen, men tillige tillagt af den enkelte fagdisciplin. Problemstillingen består i at få defineret, hvilke egenskaber der bør eksporteres til IFC-datamodellen. Dette analyseres i afsnittet modelklargøring og dataeksport.

3.4.2 Modelklargøring og dataeksport

I afsnit 3.2.1 blev det belyst, at *modelklargøring* er en essentiel delproces i modelkontrol-processen. Modelklargøringen behandler udtræk af relevante geometriske og ikke-geometriske egenskaber, som regelkoderne skal behandle i et BMC-system.

I denne forbindelse er de relevante egenskaber, de egenskaber der er sat krav til i IKT-aftalen og den dertilhørende leverancespecifikation. IKT-aftalen og leverancespecifikationerne skal være med til at sikre en fælles forståelse for, hvilke egenskabsdata der skal leveres til hver enkelt projekteringsfase. Herunder også hvordan parametre skal navngives. Vigtigheden af hvordan parametre navngives skal findes i den måde Revit parametre mappes over i IFC Pset's. Revit er konfigureret således, at den indeholder en række standard parametre, som automatisk kobles til nogle af IFC-specifikationerne i bsDD egenskaberne (figur 3-17). Eksempelvis indeholder

Pset_WallCommon yderligere egenskaber udenfor Revit's standard parametre. Disse parametre kan kobles til en modelleringsapplikation ved brug af *IFC shared parameters-fil*, udviklet af Autodesk. Herved sikres en konsistent kobling af

Pset_WallCommon	
Default parameters in Revit:	
Reference	Component type (type name)
FireRating	Fire-resistance class (type parameter)
ThermalTransmittance	U-value (type parameter)
IsExternal	Exterior component (type parameter, given as yes/no)
LoadBearing	Load-bearing (instance parameter)
ExtendToStructure	Fixed on top (behavior)

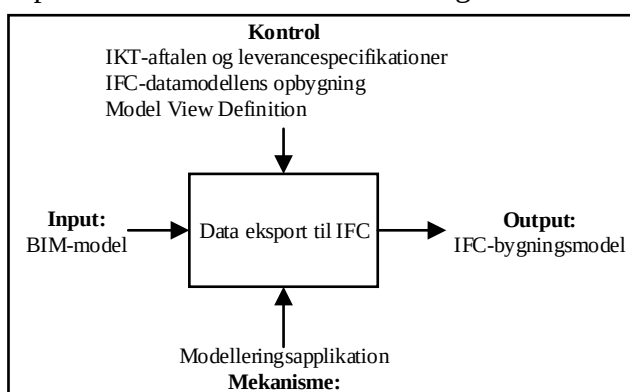
Figur 3-17 Revit standard parametre der mappes automatisk til IFC bsDD egenskaber - (Autodesk, 2018b)

modelleringsapplikationens parametre og IFC-specifikationerne. Ovenstående stiller store krav til parameternavngivning, hvis Revit parametrene skal kobles direkte til IFC Pset's. I denne sammenhæng påpeger Mads Carlsen følgende under interviewet:

"Vi hos Årstiderne forsøger at bruge de standarder der findes i IFC-specifikationerne, men jeg ser rigtig mange, der finder deres egne parameternavne. Mit yndlingseksempel er, at vi havde nogle døre hvorpå der var 5-6 parametre, som skulle repræsentere noget omkring brandklassen".

(Carlsen, 2018)

Citatet belyser, at parametre med samme anvendelse kan forekomme flere gange med forskellig navngivning. Ovenstående er en stor problemstilling, da "mapping-funktionen" er værdiløs, hvis brugerne selv opfinder deres egne parameternavne. Det er derfor vigtigt at indeværende løsningsforslag tager højde for, at ikke alle data nødvendigvis vil være at finde i IFC-datamodellen. For at adressere problemstillingen anvendes buildingSMART's MVD Coordination View, der kan sikre konsistent koordinering og dataudveksling mellem hovedfaggrupperne i projekteringsfasen. MVD'en er certificeret til IFC 2x3, og er redigerbar (buildingSMART, 2018a). En MVD er en delmængde af en IFC-datamodel, som kan udarbejdes med udgangspunkt i en eller flere udvekslingsspecifikationer. Udvikling af en MVD tager afsæt i buildingSMART's Information Delivery Manuel (IDM), som indeholder en proces- og data-del. Proces-delen adresseret ved process maps, mens data-delen håndteres ved exchange requirements skemaer. Udviklingen af MVD'er er en langsommelig og ressourcekrævende proces, der kræver dybdegående indsigt i IFC-datamodellens opbygning og dets relaterede specifikationer. Af denne grund har buildingSMART udviklet en række standard MVD'er. Fordelen ved standard MVD'en Coordination View, at den både eksporterer de egenskaber, der er indeholdt i IFC-specifikationerne, og de egenskaber, der er indeholdt i modelleringsapplikationen. Herved sikres, at alle genererede data i modelleringsapplikationen eksporteres til IFC-filen. IDEF0-diagrammet vist i Figur 3-18 illustrerer de aktiviteter, som systemets funktionalitet skal udføre, hvilket er styret af en række kontrolparametre, inputdata, samt modelleringsapplikationen, som anvendes til udførelse af aktiviteten. Funktionen data eksport til IFC påvirkes af en række kontrolparametre, der har indvirkning på IFC-bygningsmodellens dataindhold, som output. Selve mekanismen, som udfører funktionen, er i indeværende projekt, modelleringsapplikationen Autodesk Revit.



Figur 3-18 IDEF0-baseret illustration af systemets funktionalitet ved data eksport til IFC



3.5 Opsamling: Forudsætninger for specialets løsningsforslag

Afsnit 3.1 indeholder en indledende behovsafklaring. Sekvensmodellen er på en workshop anvendt til at analysere MTH's forsøg på at kvalitetsvurdere BIM-modellernes dataindhold. Analysen afslører flg. svagheder: ingen løbende datavalidering, ingen mulighed for tidlige analyser og simuleringer, stort ressourceforbrug samt dårlig kommunikation. Interessenterne ønsker, at tunge manuelle arbejdsprocesser automatiseres. Desuden blev de seks vigtigste modelleringsdiscipliner identificeret, forklaret og kategoriseret.

I afsnit 3.2 er det analyseret, hvilke processer en BIM-baseret modelkontrol gennemgår. I denne sammenhæng blev det fremhævet, at eksisterende systemer til BIM-baseret modelkontrol/regelbaseret modelkontrol er begrænset til validerings- og indholdskontrol. Disse koncepter til regelkodning vurderes også anvendelige for indeværende projekts løsningsforslag.

I afsnit 3.3 er IKT-aftalen og den danske byggebranches BIM-modenhedsniveau analyseret. Koncepter af regelkoder er baseret på prædefinerede kriterier, hvis kriterierne ikke er indeholdt i BIM, kan koderne ikke eksekveres. Det er derfor essentielt at få planlagt BIM-modellens struktur og informationsindhold, så der skabes en fælles forståelse i projekteringsorganisationen. Til dette anvendes IKT-aftalen, som dikterer hvilke egenskabsdata de enkelte fagdiscipliner skal levere. Et konkret værktøj til at specificere og operationalisere informationsindholdet er BIM7AA og DiKon bygningsdelsspecifikationer. Bygningsdelsspecifikation definerer regelfortolkning af de ikke-geometriske egenskaber og projektets løsningsforslag vil derfor også tage afsæt i denne.

Det blev konkluderet, at den danske byggebranche befinder sig i BIM-modenhedsniveau 2, hvor dobbeltprojektering forekommer. Dette påvirker den geometriske regelfortolkning.

Af afsnit 3.4 konkluderes det, at de projekterende fagdiscipliner udveksler BIM-data ved brug af åbne filformater (IFC), men modellerer separate fagmodeller. Branchens udvekslingsmetode må derfor betegnes ved little open BIM. Da prototypen skal håndtere data fra flere modelleringsapplikationer vil IFC blive anvendt i løsningsforslaget.

En anden identificeret problemstilling er, at der kan forekomme flere parametre af samme anvendelse hos de enkelte fagdiscipliner, hvilket kan betyde at ikke alle parametre fra modelleringsapplikationen bliver mappet til IFC Pset's. Derfor anvendes Coordination View MVD, da denne både eksporterer Revit og IFC-specifikationernes egenskabsdata. Herved kan den fremtidige løsning udforske, om der forekommer flere egenskaber af samme anvendelse, og samtidig tjekke om værdierne til egenskaberne er korrekt. Muliggøres dette kan BIM-modellerne løbende monitoreres for fejlbehæftet og redundant data, som kan elimineres. Dette kan på sigt sikre et mere konsistent projektmateriale, men tillige sikre, at IFC-datamodellen kun indeholder egenskabsdata iht. bsDD-specifikationerne.

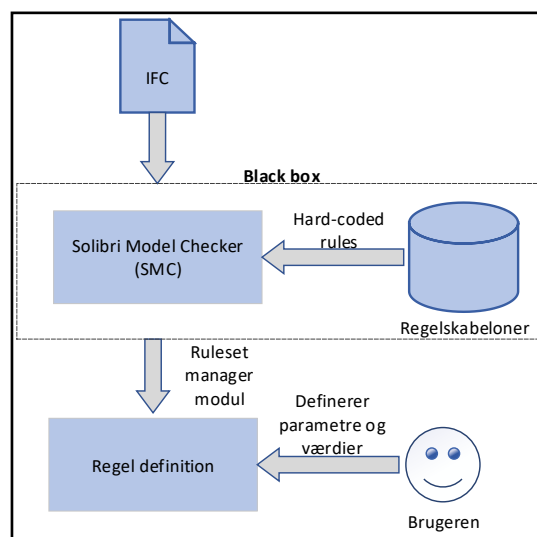
I det følgende vil der blive fokuseret på de teknologiske aspekter, der kan imødekomme og adressere problemstillingerne identificeret i ovenstående afsnit.

Del II: Teknologiske faktorer

I dette afsnit analyseres eksisterende softwareapplikationer til BIM-baseret modelkontrol med henblik på deres funktionelle muligheder og begrænsninger. Solibri Model Checker analyseres i dybden, da denne softwareapplikation er anvendt hos MT Højgaard, og for at vurdere potentielle forbedrings tiltag, der kan indarbejdes i specialets prototype.

3.6 Analyse af eksisterende softwareapplikationer

Solibri Model Checker er en kommerciel softwareapplikation, der er baseret på IFC-datamodeller. Softwareapplikationen har integreret en række funktionsmoduler, heriblandt konsistens- og kollisionskontrol, mængdeverificering, designvalidering og informationsvalidering. I de tidligste versioner af SMC indeholdt applikationen et større antal prædefinerede regelsæt, som dannede rammer for hvilke geometriske og informative udfald systemet kunne registrere. Flere forskere undersøgte på daværende tidspunkt SMC funktionelle begrænsninger. Heri beskrives SMC ved en black-box-tilgang, da reglerne ikke er redigerbare for tredjeparts brugere (Nisbet, Wix, & Conover, 2008). Begrænsningerne har SMC adresseret i de nyere versioner, hvor brugeren kan oprette brugerdefinerede regelsæt gennem Ruleset manager-modulet. SMC har til stadighed sine begrænsninger. Ruleset manager-funktionaliteten tilbyder regelopsætning indenfor SMC prædefinerede regelskabeloner, der er baseret på hard-coded regler. Skabelonerne kan redigeres indenfor et begrænset antal parametre, hvortil brugeren kan udvælge parameter og dets værdier. Det argumenteres herfor, at SMC basalt set til stadighed er omfattet af black-box-procedure (Preidel & Borrmann, 2016). Dog beskrives SMC, som et af de mest avancerede og brugervenlige produkter til BIM-baseret modelkontrol, hvilket afspejles i massive kundegruppe.



Figur 3-19 Solibri Model Checker konceptuelle opbygning.

CORENET (CONstruction and Real Estate NETwork) blev initieret af Singapores byggestyrelse i 1995, og var det første softwareprodukt i bygge- og anlægsbranchen til at udføre BIM-baseret modelkontrol. CORENET består af tre moduler CORENET e-PlanChecker, e-Submission og e-Info. Særligt e-PlanerChecker er interessant for specialets problemfelt. Målsætningen ved CORENET e-PlanChecker var at holde bygnings design op mod tilgængelighedsforhold og evakueringsforhold med en række prædefinerede regelkoder, som var nedfældet af Singapores byggestyrelse. Første udgave var baseret på elektroniske tegninger, men med IFC-datamodellens fremkomst blev systemet modificeret. Dog lider CORENET under samme black-box problemstillinger, som Solibri Model



Checker, da systemet anvender FORNAX regelskabelonbibliotek. FORNAX er ejet af en privat virksomhed, som både drifter og vedligeholder biblioteket, og er derved ikke tilgængeligt for tredjeparts brugere (Khemlani, 2005).

Et vigtigt skridt mod uafhængig regelkodning, er gennemført af det australske *code checking* project *DesignCheck*, som i samarbejde med virksomheden Jotne, har udviklet **EDModelChecker**. EDMo-delChecker har formået at eliminere begrænsningen ved prædefinerede regelskabeloner. I dette software anvendes det objektorienterede EXPRESS sproget til kodning af regelsættene. Det smarte ved denne opsætning er, at regelkoderne kan tolkes direkte fra IFC-datamodellen, gennem de tidligere nævnte IFC-skemaer. Problemstillingen ved løsningen er, at regelkodningen er begrænset til få personer, som har indsigt i C++ og Java programmering. Disse to programmeringssprog er kendt, som såkaldt *low level* programmeringssprog og sætter herved krav til, at brugeren er øvet programmør. Tillige beskrives problemstillingen ved, at aktører i bygge og anlægsbranchen oftest har begrænset erfaring med programmering (Ding, Drogemuller, Rosenman, Marchant, & Gero, 2006).

Ovenstående problemstillinger er forsøgt løst i det internationale projekt **SMARTcodes**, initieret af International Code Council (ICC). SMARTcode er et webbaseret software, som anvender IECC biblioteket til at oversætte lovgivninger, bygningstandarder og -specifikationer til computerkoder. Derved overlades kodning af regelsæt til computeren og ikke til mennesker. Metoden anvender RASE, hvilket er en semantiskbaseret markerings-metode, der semiautomatisk kan oversætte lovtekster til computerfortolkede regelsæt. Tekststykkerne kategoriseres i fire klasser Requirement, Applies, Selection og Exception, som tilsammen udgør et conditional-statement. Ved anvendelse af XML-start (<>) og -stop (</>) operatorer kan computeren selv fortolke og kode regelsættene. Begrænsningen er dog den, at reglerne udelukkende fortolkes med afsæt i lovparagraffer og ikke i ekspertviden. Derved kan værdifulde erfaringer gå tabt (Hjelseth et al., 2016; Hjelseth & Nisbet, 2015).

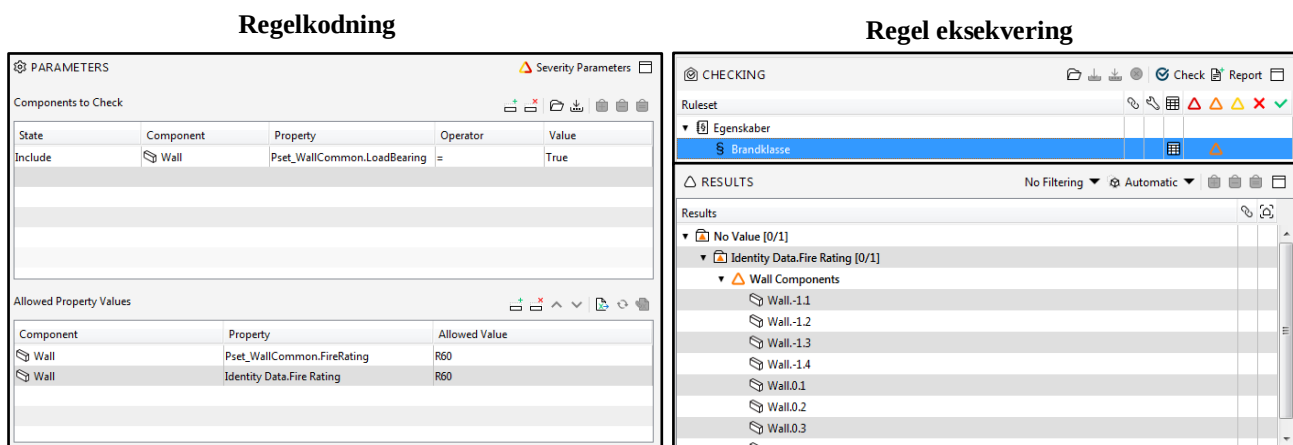
De fire ovennævnte BMC-softwareapplikationer er i høj grad fokuseret til at holde et bygningsdesign op mod en given lovgivning - eksempelvis til kontrol af afstanden mellem to uafhængige flugtvejsdøre. Litteraturen benævner sjældent problemstillingerne om, hvorvidt objekterne er modelleret korrekt eller om egenskabsdata er tilgængelige. Dette er paradoksalt, da disse typer analyser er dybt afhængige af, at BIM-modellerne er af høj kvalitet og indeholder korrekte egenskabsværdier. Det antages i litteraturen som en naturlighed, men virkeligheden er en anden, hvilket er illustreret i de ti kvalitetsvurderinger af MTH (tabel 1-1). Tillige fokuserer litteraturen meget på den geometriske udformning og i sjælden grad på informationsindholdet i objekterne. I det kommende afsnit vil muligheden for at kontrollere informationsindholdet til et givent objekt i Solibri Model Checker blive undersøgt, da denne funktionalitet ikke er beskrevet i litteraturen.

3.6.1 Informationskontrol i Solibri Model Checker (SMC)

Til trods for at SMC beskrives ved en black-box, er softwareapplikationen en af de mest udbredte til BIM-baseret modelkontrol. I det følgende testes, om SMC kan imødekomme MTH's kravspecifikationer, beskrevet i tabel 3-1.

Regelkodning

Figur 3-20 illustrer et deludsnit af SMC's ruleset manager-modulet. Heri er der oprettet et nyt regelsæt ved brug af regelsæt-skabelonen *Component property value must be consistent*. Formålet med skabelonen er validering af objekters egenskabsdata, hvilket netop er en af hensigterne med indeværende projekt. I skabelonen kan brugeren udvælge de komponenter/objekter regelsættet skal omfatte, samt hvilke egenskabsparametre regelkoden skal behandle. I det konkrete eksempel er reglen fortolket ved brug af "Eksempelsamling om brandsikring af byggeri 2012" som dikterer, at bærende vægge i bygninger af anvendelseskategori 1-6, hvor øverste etagedæk er under 12 meter over terrændæk skal opfylde brandklasse R60 (Trafik- Bygge- og Boligstyrelsen, 2016).



Figur 3-20 Regelkodning og regel eksekvering i SMC - ruleset manager-modul. Til venstre ses regelskabelonen, hvori regelkoden defineres. Til højre ses checking-modulet, hvor udfaldet til regelkoden kan observeres.

Til testen er der anvendt en simpel BIM-model modelleret i Revit og eksporteret til IFC. Til venstre i figur 3-20 vælges objekter til kontrollen, som sker i *component to check*-vinduet, hvor alle bærende vægobjekter udvælges. Efterfølgende defineres hvilke egenskabsparametre, som SMC skal kontrollere i *allowed property values*-vinduet. Det er forsøgt at opsætte et regelsæt, der kontrollerer både *Pset_wallcommon.FireRating* og *IdentityData.FireRating*. Testmodellen indeholder begge ovennævnte parametre, men kun en værdi i *Pset_wallcommon.FireRating*. Til højre i figur 3-20 ses resultatet af regelopsætningen. Her registrerer SMC et moderat udfald, da *IdentityData.FireRating* ikke indeholder en værdi. Testen belyser, at SMC ikke kan håndtere flere parametre i et og samme regelsæt, og derved kræver projektspecifikke ændringer eller en manuel gennemgang af hvert enkelt udfald.

Det er tillige forsøgt at opsætte et regelsæt, der tager højde for flere kontekstuelle forhold. "Eksempelsamling om brandsikring af byggeri 2012" dikterer et skærpet brandkrav på R120 til bærende væg,

hvis øverste etagedæk er over 12 meter, men under 22 meter over terræn. Til testen anvendes SMC *sub rule*-funktion, der muliggør at flere regelskabeloner kan indlejres i et og samme regelsæt. Funktionen blev forsøgt testet gennem forskellige opsætninger, men uden held. Problemstillingen er, at flere IFC-classes ikke kan indlejres i samme regelsæt. Derfor konkluderes, at det ikke er muligt at opsætte regelsæt, der kan tage højde for flere kontekstuelle forhold, og derfor kræver revidering af regelkoder afhængigt af de kontekstuelle forhold.

Tillige er det en begrænsning, at regelsæt bygger på faste værdier, hvilket betyder, at regelsættene bliver meget statiske, og hæmmer mulighederne for at opsætte mere generiske regelsæt. Et generisk regelsæt skal forstås ved, at værdien til regelkoden bygger på værdien fra et anden parameter. Problemstillingerne ved at regelsæt ikke kan håndtere flere parametre, og at regelsættene er baseret på faste værdier betyder, at regelsæt i Solibri kræver omfattende projektspecifikke ændringer.

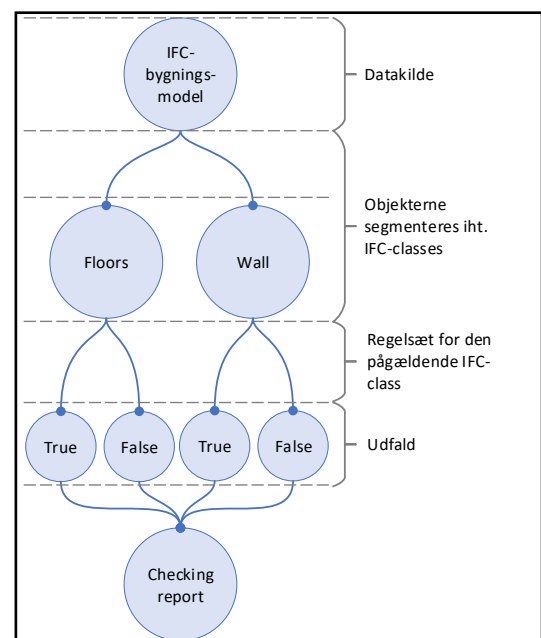
I appendiks 5 er der foretaget en analyse af MTH's SMC regelsæt-skabeloner. Regelsæt-skabelonerne er anvendt i kvalitetsvurdering af BIM, analyseret i tabel 1-1. Appendikset belyser, at regelsættene er meget lempelige, da disse kun validerer om parametrene indeholder en værdi, og ikke om værdien i parameteret er korrekt. Dette betyder at valideringsresultaterne sandsynligvis ikke er fyldestgørende og giver et forvrænget analyseresultat. Derfor må MTH's kvalitetsvurderingsresultater, der ved første indtryk viste tydelige mangler forventes at være mere alvorlige end først antaget.

Regeleksekvering

En anden problemstilling er, at regelsæt i SMC eksekveres iht. IFC-datamodellens classes, vist i figur 3-21, og derved vurderes objekter, som måtte være modelleret forkert, på et forkert grundlag. Eksempelvis kunne en bjælke være modelleret som et vægobjekt, herved vil bjælken vurderes med afsæt i regelsæt for vægge, hvilket kan give et forvrænget kontrolresultat.

Problemstillingen kan imødekommes ved implementering i decision tree-metoden, hvor alle objekter evalueres og segmenteres i nye kategorier uafhængigt af deres oprindelige IFC-class. Decision tree-metoden muliggør opsætning af flere regelkoder, der definerer karakteristika for en pågældende objektkategori. Når et sådant regelsæt eksekveres, vil hvert enkelt objekts opfyldningsgrad blive

evalueret uafhængigt af sin IFC-class. Afhængigt af opfyldningsgraden segmenteres objekterne i nye kategorier, der danner grundlag for de efterfølgende validerings- og kvalitetskontroller. SMC muliggør ikke manipulering af datakilden, og kan derfor ikke anvendes til denne metode.



Figur 3-21 Regel eksekvering i SMC sker på IFC-classes

Resultat rapportering:

SMC *checking report*-modul er opbygget således, at såvel regelsæt som BIM-model er visuelt repræsenteret. Hvis et udfald registreres, kan brugeren klikke på regelsættet og objekterne bliver automatisk isoleret og visualiseret i userinterfacet. SMC userinterface er indiskutabelt meget funktionelt, og en af fordelene ved SMC. Tillige kan analyseresultaterne formidles til de relevante rådgivere gennem Excel, PFD eller BCF-formatet. Dog kan SMC ikke sammenholde kontrolresultater på tværs af modelversioner, hvilket er et af ønskerne til dette projektets prototype.

Opsamling

I tabel 3-4 er MTH's kravspecifikationer sammenlignet med analysen af SMC.

Evalueringskriterier:	Beskrivelse	Opfyldelse
Datakilde	Solibri anvender IFC-datamodeller, og kan derved håndtere BIM-modeller på tværs af softwareapplikationer.	✓
Eksekvering	Semiautomatisk og eksekveres på IFC-classes, hvilket kan give et forvrænget analyseresultat	✗
Formål	Dataindholdet i BIM-modeller kan valideres og kvalitetssikres op mod det aftalte	✓
Fleksibilitet i regelsæt	Ingen mulighed for at opsætte regelsæt, hvor flere parametre udforskes. Solibri registrerer udfald, hvis et af flere parametre ingen værdi indeholder. Tillige bygger regelkoder på fast værdier, samt flere kontekstuelle forhold kan ikke implementeres.	✗
Monitorering	Solibri giver et øjebliksbillede af BIM-modellernes informationsindhold, og kan ikke sammenholde tidligere kontrolresultater	✗
Resultatformidling	Kontrolresultater kan formidles til relevante rådgivere ved brug af Excel, PDF eller BCF. Formidlingen er ideel til udbedring af registrerede fejl. Formidlingen er meget detaljeret, hvilket ikke giver det ønskede overblik.	✓/✗
Ændringshåndtering	Kræver projektspecifikke ændringer, hvilket er ressourcekrævende.	✗

Tabel 3-4 - Opsamling på SMC analyse, holdt op mod MTH's kravspecifikationer

SMC har sine begrænsninger, men tillige sine fordele. Solibri Model Checker giver mulighed for at oprette egne regelsæt, eksekvere dem og skabe indsigt i modellernes datakvalitet i et brugervenligt userinterface. Opsætningen af regelsæt er dog begrænset til SMC's regelsæt-skabeloner, og beskrives derfor ved en black-box-tilgang. Tillige har indeværende afsnit belyst en række begrænsninger. Blandt andet at regelsættene ikke kan håndtere flere parametre, samt bygger på faste værdier, og at flere kontekstuelle forhold ikke kan indlejres i samme regelsæt-skabelon. Da regelsættene eksekveres på eksisterende IFC-class, kan dette give et forvrænget kontrolresultat.

SMC's funktionelle opbygning gør det ikke muligt at lave en fuldautomatisk eksekvering, hvilket er målsætningen ved indeværende projekt. Derfor vurderes SMC ikke som en mulig løsning.

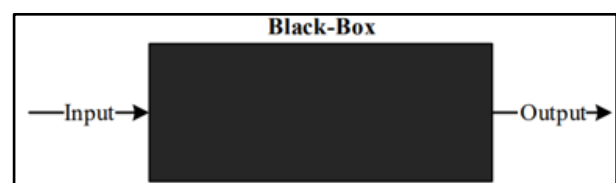
3.7 Visuel programmering

I foregående afsnit blev det konkluderet, at Solibri Model Checker (SMC) har visse uhensigtsmæssige begrænsninger, da eksekveringen foregår semiautomatisk, samt da regelskabelonerne kun tilbyder regelkodning indenfor en række prædefinerede kriterier. Da ingen eksisterende softwareapplikationer leverer den ønskede funktionalitet, ses det nødvendigt at udvikle et nyt system.

Udvikling af nye softwaresystemer er imidlertid en langsommelig og krævende proces, der kræver erfaring inden for tekstbaseret programmering. Et alternativ til tekstbaseret programmering er visuel programmering (*Visual Programming Language* – VPL). VPL tillader brugeren at udvikle programmer i et interface, ved at sammenkoble programelementer grafisk, uden at udføre reel tekstbaseret kodning. Den mest anvendte metode for VPL er bokse/noder og tråde. Noderne repræsenterer et kodeelement, og trådene anvendes til at skabe relation mellem kodeelementerne (Celani & Vaz, 2012). VPL har i de senere år vundet stor udbredelse i bygge- og anlægsbranchen, da programmeringskompetencer er begrænsede og af den grund et nemt alternativ (Anton & Tanase 2016). Den rumlige repræsentation i et grafisk sprog understøtter abstrakte tanker i relation til udvikling af koder. Disse abstrakte tanker i sammenkobling med udviklingen af koder fremmer branchens mulighed for optimering af arbejdsprocesser uafhængigt af programudbydere (Celani & Vaz, 2012).

3.7.1 Visuel programmering koblet til CAD

VPL findes i mange afskygninger og kan anvendes til flere formål lige fra parametrisk design til data analytics. I de senere år er VPL blevet et integreret arbejdsværktøj til modelleringen af BIM. Flere udbydere af CAD-software har udviklet VPL plugins som tillæg til deres programmer, her i blandt Dynamo til Autodesk Revit, Generative Components til Bentley og Grasshopper til Rhinoceros3D. Grasshopper fungerer som et add-in til manipulering af 3D objekter i Rhino, den er yderst velegnet til friform skitsering, men sparsom når det omhandler databehandling og dataudtræk. Autodesk Dynamo er en open-source parametrisk design platform. Platformen er både et integreret add-in til Revit og en stand-alone applikation (Dynamo Studio). Dynamo giver mulighed for at manipulere med geometriske udformninger, men tillige eksportere og importere egenskabsdata til/fra Revit. Autodesk Dynamo har et solidt bagland af engagerede tredjepartsbrugere, der udvikler og deler node-pakker gennem en offentlig server. De udviklede noder er programmeret i Python²¹, som er menneskeligt læsbart, men til stadighed kræver en dybere indsigt og erfaring med programmering. Brugere uden kompetencer i Python, vil derfor ikke direkte kende nodernes funktionalitet, og Dynamo-noder er derfor en black-box.



Figur 3-22 Design-nodes set fra brugernes perspektiv -

(Preidel & Borrmann, 2015)

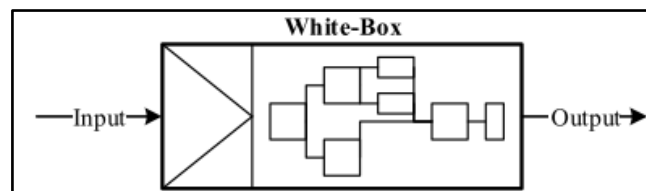
²¹ High level programming

VPL-systemer til CAD er kendte ved at være fleksible med en lav fejltolerance, da disse er fokuserede til arbejdsopgaver med arkitektur og geometrisk formgivning. Systemerne er specialiseret i at håndtere intuitive designopgaver, informationsudtræk og informationsberigelse. Et fællestræk for alle ovennævnte CAD VPL-programmer er, at de egner sig bedst til arbejdsopgaver direkte relaterede til moderprogrammet og ikke IFC-datamodeller (Preidel & Borrmann, 2015).

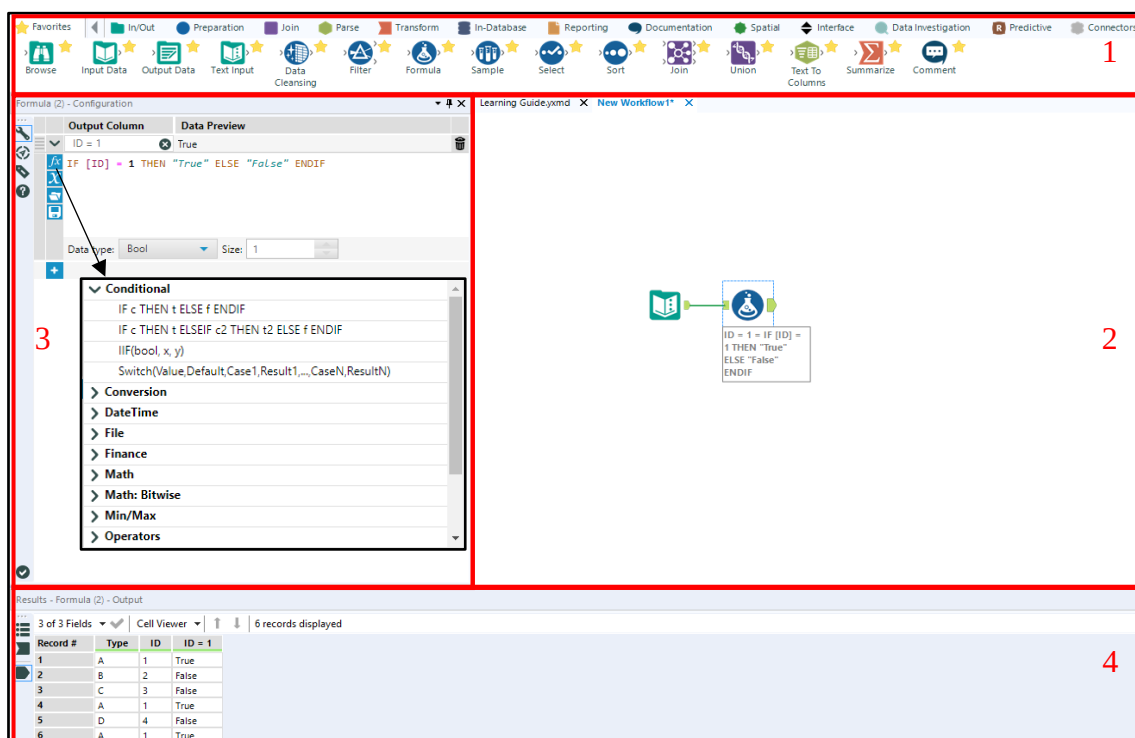
Grundet ovennævnte begrænsninger i eksisterende software må der søges efter alternative VPL-software, der tilbyder større indsigt i nodernes funktionalitet, uden at brugeren nødvendigvis skal have kompetencer i programmering.

3.7.2 Visuel programmering til dataanalyse

I foregående afsnit blev det nævnt, at VPL findes i mange afskygninger, lige fra parametrisk design til data analytics. Programmet Alteryx er et VPL-software, kendt som et ETL-tool (Extract, Transform and Load), der tilbyder større fleksibilitet i arbejdet med data filtrering, klargøring og manipulering. Alteryx differentierer sig fra CAD VPL-softwareapplikationer ved at tilbyde en mere white-box-funktionalitet. Dette skal forstås ved, at inputværdierne til en node er direkte synlige for brugeren. Brugeren kan tillægge metoder til behandlingen af data og herved bestemme outputværdien af hver enkelt node, uden at skulle udføre reel tekstbaseret kodning. Figur 3-23 illustrerer Alteryx userinterface, som er opdelt i fire menuer. **Menu 1** indeholder et bibliotek af noder, udviklet



Figur 3-24 Alteryx nodes set fra brugernes perspektiv - (Preidel & Borrmann, 2015)



Figur 3-23 Alteryx userinterface: Menu 1: nodebibliotek, Menu 2: grafisk sammenkobling af koder, Menu 3: kodning af nodes og Menu 4: Outputværdier

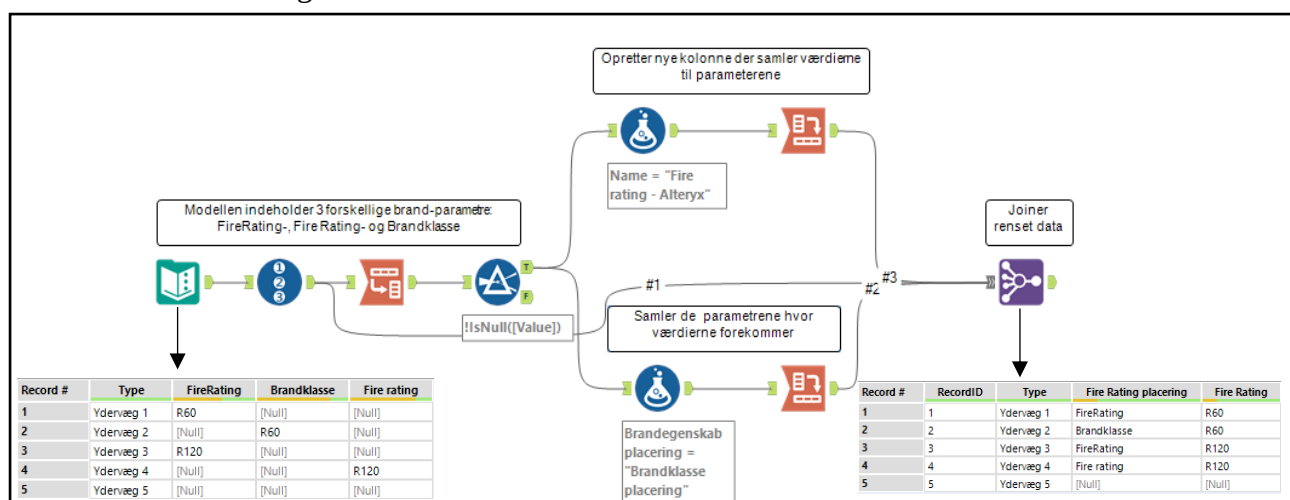
af Alteryx eller af tredjeparts brugere, der kan downloades fra Alteryx officielle hjemmeside.

I **menu 2** sammenkobles de grafiske kodestykker(noder). Ovenstående figur illustrer de omtalte tråde og noder i VPL. Disse noder kan tillægges metoder af varieret kompleksitet. **Menu 3** viser en konkret anvendelse af *Formula*-værktøjet. Værktøjet indeholder et større antal prædefinerede metoder, der kan implementeres i den specifikke node, heriblandt matematiske formler, conditional statements m.fl. Måden hvorpå Alteryx forstår, hvilke data der skal behandles, er ved at referere til det specifikke kolonnenavn, der principielt skal forstås som et regneark. Figur 3-23 illustrer et simpel conditional-statement, hvor "ID" lig med 1 imødekommer udsagnet og derved "True", mens alle forekomster, der ikke opfylder udsagnet er "False". Et conditional-statement i Alteryx kan både bygge på faste værdier (som i figuren), men tillige referere til en værdi fra en anden kolonne/parameter, hvilket gør dets anvendelse ekstrem funktionel. I **menu 4** kan resultatet af et conditional-statement observeres. Resultatet kan oprettes i en ny kolonne eller overskrive en eksisterende kolonne, og herved kan brugeren nemt overskue konsekvensen af koden.

I afsnit 3.6.1 blev det konkluderet, at SMC mangler en funktion til håndtering af flere parametre i et og samme regelsæt. Enten krævede regelsættene projektspecifik opsætning eller lempelige regelsæt (som hos MTH) der i begge tilfælde kræver manuel gennemgang af hvert enkelt regelsæt, hvilket er en ressourcekrævende proces.

Tillige blev det belyst i afsnit 3.2, at validerende- og indholdskontrol baseres på prædefinerede parametre. Hvis parameteret ikke er tilstede i BIM-modellen, kan reglen ikke eksekveres.

Disse problemstillinger kan adresseres i Alteryx ved at oprette nye datalabels/parametre, hvor egen-skabsdata fra BIM-modellens kan samles. De nye datalabels sikrer konsistent navngivning, der kan anvendes i et videre regelkontrollforløb.



Figur 3-25 - Eksempel på samling af brandklasse-parametre (Fire rating placering) og dets værdier under en ny datalabel (Fire Rating)

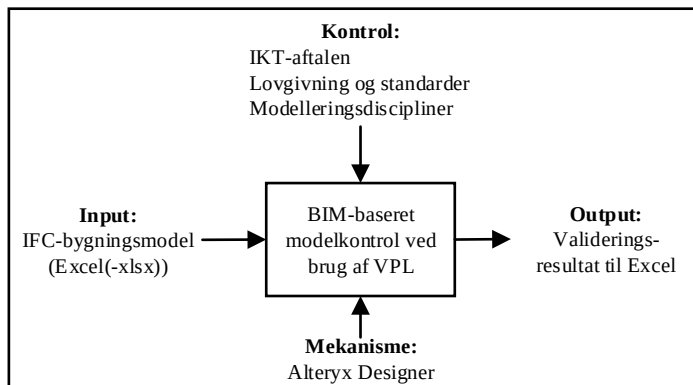
Figur 3-25 illustrerer et eksempel herpå. Datakilden i eksemplet, indeholder fem typer af ydervægge, hvor brandklasserne er spredt ud over tre forskellige brandparametre, som vist i tabellen til venstre i

figuren. Workflowet er opbygget således, at det samler egenskabsværdierne til parametrene under et nyt parameternavn (Fire Rating), men tillige samler de parametre, hvori værdierne er placeret (Fire Rating placering), som vist i tabellen til højre i figuren. Disse datalabels sikrer, at de prædefinerede kriterier/parametre altid er tilstede, uafhængigt af om objektet indeholder en brandklasse eller ej. De nye datalabels sikrer en ensartet navngivning af parametre, hvilket minimerer behovet for projektspecifikke ændringer. Ovennævnte datalabels kan indgå i et videre workflow, hvor egenskabsværdiernes korrekthed kontrolleres – eksempelvis om en ydervæg indeholder korrekt klassifikationskode, brandegenskab eller andet. Tillige illustrerer figuren, at Alteryx-workflowet kan spore tilbage, hvilke parametre egenskabsværdierne er placeret i. Herved kan IKT- og projekteringsledelsen sammenligne egenskabsværdiernes placering mod kravspecifikationerne i IKT-aftalen. For at sikre et fuldendt system for fremtiden kræver det indsigt i, hvor parametre af samme anvendelse hyppigst forekommer, hvilket i indeværende projekt er adresseret gennem en analyse af tre tidligere projekter²².

Alteryx white-box funktionalitet overlader større frihed til brugerne, hvor store mængder af data kan renses, manipuleres, analyseres og klargøres til visualisering. Derfor anses Alteryx som en ideel teknologisk løsning til BIM-baseret modelkontrol. Da Alteryx er direkte kompatibel med flere visualiseringsværktøjer (disse vil belyses i afsnit 3.8), kan den valideringsresultaterne overføres direkte eller til et Excel-ark, som efterfølgende kan importeres.

IDEF0-modellen vist i figur 3-26 illustrerer den funktion, Alteryx skal udføre, hvilket er en BIM-baseret modelkontrol. Kontrollen påvirkes som tidligere nævnt af lovgivninger, standarder, modelleringsdiscipliner og IKT-aftalens kravspecifikationer. Det ønskede output i forbindelse med funktionen er et resultatark i Excel, der indeholder de validerede data på tværs af modelversioner. Resultatarket i Excel er i imidlertid af ringe informativ karakter, hvorfor resultaterne ønskes visualiseret på en bedre måde.

Alteryx giver mulighed for at importere data fra mange forskellige datakilder heriblandt SQL-databaser, ERP-systemer, cloud baserede applikationer og Excel, men ikke IFC-datamodeller. Dette adresseres i det følgende afsnit.



Figur 3-26 IDEF0-baseret illustration af systemets funktionalitet ved BIM-baseret modelkontrol

²² Se appendiks 6

3.7.3 IFC-bygningsmodeller til Excel

Alteryx understøtter ikke IFC-datamodellen, og derfor ønskes der et alternativ. Da IFC-filen er kompatibel med XML-dokument strukturen, kan data fra IFC eksporteres direkte til Excel, hvilket Alteryx understøtter. Der findes flere freeware og kommercielle softwareudbydere på markedet, som muliggør dataeksport fra IFC til Excel. NIST (National Institute of Standards and Technology) har udviklet freewaret IFC File Analyzer, der kan eksportere IFC-datamodellen til XLSX- eller en CSV-fil. Problemstillingen ved output filen fra IFC File Analyzer, er dens dataindhold og kompleksitet. Egenskabsdata til de enkelte objekter er spredt udover flere sheets, som er bundet sammen af hyperlinks, illustreret i figur 3-27.

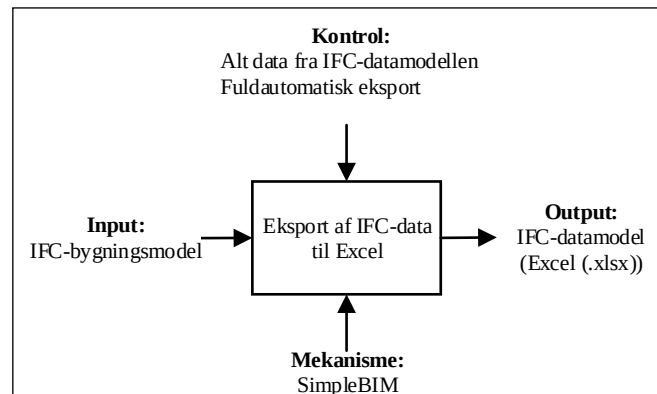
ifcWallType	ifcWindow	ifcArbitraryClosedProfileDef	ifcCircleProfileDef	ifcExtrudedAreaSolid	ifcRectangleProfileDef	ifcMaterial
-------------	-----------	------------------------------	---------------------	----------------------	------------------------	-------------

Figur 3-27 udsnit af sheets opbygning ved udtræk med IFC File Analyzer

Når disse sheets importeres til Alteryx mister hyperlinkene sine funktioner. Hvilket betyder, at en strukturering af IFC-data vil være af omfattende karakter. Oversættelsen til Excel kræver, at brugeren importerer IFC-datamodellen til freewaret, og kan derfor ikke fuldautomatiseres, hvilket er en af kravspecifikationerne til det kommende system.

En anden softwareudbyder, der kan eksportere IFC-data til Excel, er SimpleBIM. SimpleBIM en IFC-softwareapplikation, som kan automatisere manuelle arbejdsprocesser, i forbindelse med arbejdet med IFC-datamodeller. SimpleBIM har indbygget en række standardværktøjer, der kan køres i user-interfacet, men tredjepartsbrugeren kan tillige udvikle egne værktøjer gennem templates i Excel. Templates kan anses som scripts, der behandler alt fra rensning af datamodeller til automatisk import af IFC-modeller og eksport til Excel. Førnævnte scripts kan eksekveres gennem Windows *Command prompt* (kommandoprompt), ved at pege på stien til SimpleBIM, samt scriptet, som det skal eksekvere. Alteryx har udviklet et værktøj til at køre kommandoprompt gennem batchfiler, der eksekverer scriptet automatisk, og herved kan eksporten til Excel udføres fuldautomatisk. Excel filen er meget informationsrig. Den indeholder alle data fra IFC-datamodellen specifikationer, men tillige alle geometriske og ikke-geometriske informationer fra modermodelleringsapplikationen, som rådgiveren måtte have defineret. Fordelen er, at alt data er tilgængeligt, ulempen er, at der forekommer meget redundant data. De enkelte IFC-classes er inddelt i separate sheets, hvori alt data knyttet til klassen er tilgængeligt. Dette gør arbejdet i Alteryx mere ligetil, men sætter krav til data rensningsprocessen. Til trods for dette vurderes Excel-filen eksporteret fra SimpleBIM, så informationsrig, at den ses anvendelig til en BIM-baseret modelkontrol.

IDEF0-modellen vist i figur 3-28 illustrerer den funktion, som SimpleBIM skal udføre, hvilket er en eksport af IFC-data til Excel. Funktionen påvirkes af, at alt data fra IFC-datamodellen eksporteres, samt et ønske om fuldautomatisering. Det ønskede output i forbindelse med funktionen er en Excel-fil, hvori de enkelte IFC-classes er opdelt i sheets, da dette giver en mere overskuelig datakilde.



Figur 3-28 IDEF0-baseret illustration af systemets funktionalitet ved eksport af IFC-data til Excel

Som beskrevet i tidligere afsnit har valideringsresultaterne ingen værdi, hvis de ikke kommunikerer på en informativ og letforståelig måde. I det følgende beskrives hvilke metoder, der kan anvendes til data visualisering.

3.8 Datavisualisering til resultatrapportering

I de forrige afsnit blev det analyseret, hvorledes det er muligt at manipulere data, og hvordan det er muligt automatisk at udføre regelbaseret modelkontrol i Alteryx. I afsnit 3.2.1 blev det belyst at resultatrapporteringen er den sidste af de fire faser i processen omkring regelkontrol. Formålet er at skabe ny indsigt og viden om BIM-modellens kvalitet som projektorganisationen kan agere med afsæt i. Resultatrapporteringen er meget essentiel da, analyseresultaterne fra den BIM-baserede modelkontrol ingen værdi har, hvis de ikke kommunikerer til de relevante interessenter. Derfor er det vigtigt at kunne visualisere valideringsresultaterne på en effektiv og let forståelig måde, således at det er muligt at tage beslutninger på baggrund af modelkontrollen.

Thomas & Cook (2006) definerer data visualization som videnskaben om menneskets analytiske ræsonnement, lettet af interaktive visuelle interfaces. Da mængden og kompleksiteten af data er vokset, er mennesket blevet mere afhængigt af at anvende visualiseringer til at præsentere store mængder af data på en enkel måde (Dietrich, Heller, & Vang, 2015). Samme tendens ses i bygge- og anlægsbranchen, hvor BIM-modellerne i stigende grad bliver beriget med flere data.

Formålet med datavisualisering er at formidle information effektivt og klart, så informationerne gøres let forståelige. Visualisering af informationer er dog et gammelt fænomen, som mennesket har praktiseret i århundreder. Menneskets behov for at visualisere informationer skyldes, at vores forståelse i høj grad er visuel (Manuela & Costa, 2014). Derfor forsøger datavisualisering at udnytte menneskets evne til at genkende strukturer og mønstre. Da datavisualisering handler om at gøre data mere tilgængeligt, forståeligt og brugbart ses metoden ideel til resultatrapportering i indeværende prototype.

Videreformidling af information er hovedformålet i kommunikationsdesign. Den måde diagrammer visualiseres gennem farver, former og etiketter påvirker, hvordan brugeren behandler oplysningerne,

og hvordan budskabet opfattes af brugeren. Derfor er det vigtigt at overveje, hvorledes data visualiseres bedst muligt. Data visualisering er oftest henvendt til slutbrugeren, af den grund er det vigtigt at have fokus på, hvordan data opleves og forstås, samt hvorledes slutbrugeren kan interagere med data (Huang & Huang, 2013). Visuelle præsentationer og interaktionsteknologier giver brugerne en bedre afbildning af data, så det er lettere at forstå store mængder information på en gang (Thomas & Cook, 2006). Metoder til data visualisering er meget udbredt i kommercielle industrier, hvor det er muligt for organisationer at tage informerede forretningsbeslutninger. På samme måde bliver metoden også brugt af forskere til at verificere eller afvise videnskabelige modeller, teorier og hypoteser (J. SOCHA, 2017). Derimod er data visualisering et nyt fænomen i byggeindustrien. Der findes dog nylige eksempler på visualisering af BIM-data som (Deutsch, 2015), (Ramanauskas, 2018) og (Exigo, 2018), hvilket indikerer, at det er et område, som byggebranchen begynder at få øjnene op for.

Til data visualisering findes der flere forskellige værktøjer og designmetoder, hvilket vil blive beskrevet i det følgende afsnit.

3.8.1 Metoder og værktøjer til data visualisering

I de senere år er der udviklet mange forskellige datavisualiseringsværktøjer. Værktøjerne kan overordnet kategoriseres i tre typer, se tabel 3-5.

Kategori	Værktøjer
1	Et selvstændigt programmeringssprog og dets eget integrerede udviklingsmiljø som Adobe Flash ActionScript m.fl.
2	Online eller installationsforpligtede programmer, der giver mulighed for nemt at generere visualiseringer gennem standarddiagrammer, her kan nævnes programmer som Microsoft Power BI og Tableau Public m.fl.
3	Biblioteker, værktøjer eller komponenter der i forvejen er designet i eksisterende programmeringssprog, såsom d3.js af Bostock eller gRaphaël.js af Baranovsky.

Tabel 3-5 Kategoriserings af datavisualiseringsværktøjer - mod. (Huang & Huang, 2013)

Med værktøjerne i **kategori 1** kan brugeren udvikle egne visualiseringer, der passer præcist til den måde brugeren ønsker at fremstille informationerne på. Ulempen er, at det kræver store programmeringskompetencer, og dermed tager det langt tid at udvikle nye visualiseringer (Huang & Huang, 2013).

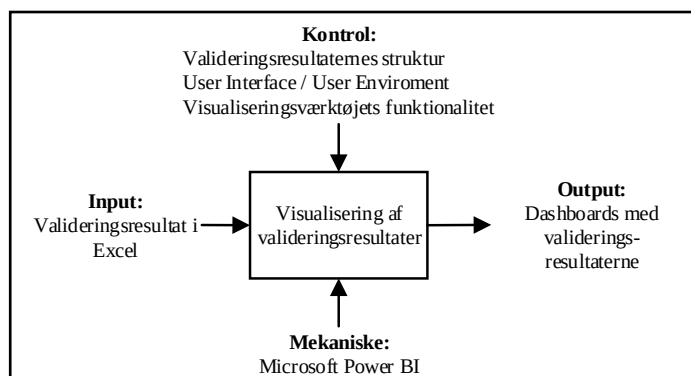
Programmerne under **kategori 2** har den fordel, at de kan anvendes uden kompetencer inden for programmering. Her har brugeren på forhånd adgang til et sæt diagramskabeloner, der kan anvendes. Det er dermed hurtigt og enkelt at opsætte visualiseringer på baggrund af et bearbejdet datasæt. Ulempen er derimod, at brugeren er begrænset i forhold til at visualisere data på den ønskede måde, da diagramskabelonerne kun tillader et begrænset antal modifikationer såsom ændringer af farver og symboler.

Over tid har open source-samfundet udviklet mange biblioteker, der tilbyder flere muligheder for at præsentere data visuelt (Dietrich et al., 2015). Visualiseringsbibliotekerne i **kategori 3** har udvidet muligheder i forhold til værktøjerne i kategori 2. Imidlertid stilles der krav om, at brugeren skal have en vis forståelse for programmering for at kunne anvende disse værktøjer.

Valg af værktøjer til datavisualisering afhænger både af hvilke data, der skal visualiseres, brugerens tekniske kompetencer og tidsaspektet i, hvor hurtigt visualiseringen skal udføres. Dog ses der en hastig udvikling af programmer som Microsoft Power BI, hvor mulighederne for dataanalyse og data visualisering stiger kraftigt. Den stigende funktionalitet af programmerne i kategori 2 minimerer de begrænsninger, der tidligere har været og gør, at det i dag er muligt at lave alsidige og hurtige visualiseringer.

Da ønsket til indeværende prototype er en løsning hvor projektspecifikke ændringer let skal kunne indarbejdes, ses det hensigtsmæssigt at vælge et visualiseringsværktøj hvor i nye visualiseringer hurtigt kan oprettes. Samtidig blev det i afsnit 3.6.1 belyst, at programmeringskompetencerne i byggebranchen er begrænsede, derfor ses det fordelagtigt at vælge en løsning, der ikke kræver kompetencer inden for dette. Visualiseringssoftwaret Microsoft Power BI imødekommer ovennævnte kriterier, derfor ses denne teknologiske løsning ideel at anvende.

IDEF0-modellen vist i figur 3-29 illustrerer Power BI's funktion som et program til visualisering af data, hvor inputtet er valideringsresultaterne fra Alteryx i Excel-format. Figuren viser desuden hvilke forhold, der påvirker denne funktion. Løsningen vil anvendes til opsætning af en række digitale dashboards. Opsætning og design af dashbordene vil ske i samarbejde med brugerne, hvilket vil beskrives i nedenstående afsnit.



Figur 3-29 IDEF0-baseret illustration af systemets funktionalitet ved visualisering af analyseresultater

3.8.2 User interface

Et af kontrolpunkterne til funktionen illustreret i figur 3-29 er *user interface*, hvilket er en væsentlig del af det at designe et nyt system, og som adresseres gennem Contextual Design metoden. Det interface, som brugerne skal interagere med i indeværende løsning, er en række interaktive dashboards opsat i Power BI. Ved opsætning af digitale dashboards er det væsentligt at overveje, hvilke informationer der skal være tilgængelige, hvordan de skal organiseres og se ud. I denne forbindelse valgte projektgruppen at inddrage brugeren i processen. Brugerinvolveringssessionen fandt sted til den afholdte workshop beskrevet i afsnit 3.1, hvor brugerne i samarbejde med projektgruppen identificerede, hvad dashboard skulle indeholde. Projektgruppen præsenterede mulighederne i Power BI, hvorefter brugerne kom med ideer til, hvilke visualiseringer, der skulle anvendes.

Projektgruppen kom i samarbejde med brugerne frem til, at prototypen skulle bestå af en forside indeholdende de væsentligste informationer på et overordnet plan. Brugernes foreslog en forside, der kunne give et hurtigt indblik i tilstanden for den samlede model. Desuden efterspurgte de et separat dashboard til monitorering af modellens udvikling, på tværs af versioner. Et stort ønske fra brugerne var også, at kunne se de detaljerede resultater for hver enkelt bygningsdel. Målet med de detaljerede dashboards var, at IKT-ledelsen kunne få indsigt i fejlene for hvert enkelt objekt, samt kunne kommunikere disse resultater ud til den relevante rådgiver. Brugerinvolveringssessionen endte ud i en masse skitseforslag, et udpluk her af ses vist i figur 3-30.



Figur 3-30 Workshop i samarbejde med brugerne: Ideer til opsætning af digitale dashboards.

4 Problembearbejdning

4.1 Forudsætninger og valg af software

I problembearbejdningen er formålet at implementere de belyste teorier fra problemanalysen, i en ny og forbedret arbejdsproces, der understøtter MTH's ønsker og krav beskrevet i afsnit 3.1.

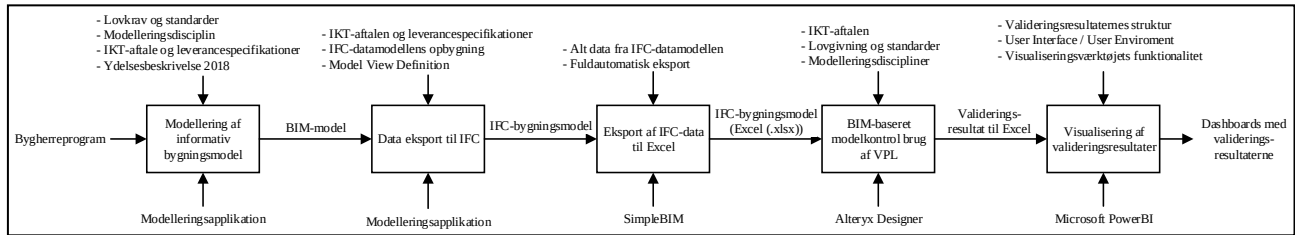
Det er i problemanalysen belyst, at der er potentiale for en forbedring og automatisering af MTH's nuværende arbejdsprocesser i forbindelse med validering af dataindholdet i BIM.

MTH ønsker et system, der blandt andet:

- Automatisk identificerer redundant og fejlbehæftet data i BIM
- Minimere behovet for projektspecifikke ændringer
- Monitorerer modelleres udvikling på tværs af versioner
- Visualiserer resultaterne på en informativ måde.

Automatisering af disse arbejdsprocesser har vist sig at støde på flere udfordringer og problematikker. Det primære problem fundet gennem problemanalysen, er de to eksisterende softwaretyper til BIM-baseret modelkontrol. Den ene type software anvender en black-box tilgang, hvor regelsæt-skabeloner er hard-coded, hvilket begrænser brugeren i at modificere og oprette egne regelkoder. Den anden type software muliggør, at brugeren frit kan opsætte regler, men kræver omfattende kompetencer indenfor programmering. Samtidigt tilbyder ingen af de analyserede software en fuldautomatiseret eksekvering, der stemmer overens med MTH's ønsker til en kommende løsning. Problemanalysen har dermed vist, at der er behov for at udvikle en ny teknologisk løsning.

Visuel programmering har flere fordele, da det er hurtigere og kræver færre programmeringskompetencer. Dataanalyseprogrammet Alteryx kan imødekomme ønsket om en fleksibel white-box løsning, hvori brugeren kan opsætte simple og komplekse conditional statements i et større antal integreret noder. Herved kan der opsættes validerende og indholdsregelkoder i et VPL-interface, der kan automatisere den BIM-baserede modelkontrol. Til visualisering af valideringsresultaterne kan Power BI anvendes, da dette program giver mulighed for at lave informative visualiseringer, der er let fortolkelige for systembrugerne. Dermed ses anvendelsen af Alteryx til regelkodning og eksekvering i samspil med Power BI til visualisering af resultaterne, umiddelbart som en løsning med stort potentiale. Dette er dog en uprøvet metode ved brug af dataanalyseprogrammet Alteryx. Da Alteryx ikke kan fortolke IFC-data skal der anvendes et andet software til at oversætte IFC-data til Excel. Til dette formål vælges SimpleBIM grundet sit åbne API, hvor det er muligt at automatisere importen af IFC-bygningsmodel og eksporten til Excel, ved brug af script-filer.



Figur 4-1 IDEF0-baseret illustration af systemets samlede funktionalitet.

Af figur 4-1 fremgår systemets samlede funktionalitet til automatisering af arbejdsprocesserne i forbindelse med validering af dataindholdet i BIM.

Første step i løsningen er en informativ bygningsmodel, der modelleres med afsæt i de seks vigtigste af MTH's 12 simple modelleringsdiscipliner og en projektspecifik IKT-aftale, der stiller krav til dataindholdet. Til indeværende speciale har MTH stillet en casebygning til rådighed, som projektgruppen vil anvende i forbindelse med udvikling af prototypen. Næste step er eksport af bygningsmodellen til IFC. Her anvendes *Coordination View-MVD*, som efterfølgende oversættes til Excel ved brug af SimpleBIM. Herefter eksekveres de opsatte regelkoder i Alteryx og valideringsresultaterne visualiseres i Power BI.

Oversigt for problembearbejdningen

I afsnit 4.2 præsenteres casebygningen anvendt i forbindelse med udviklingen af specialets prototype. Casebygningen vil samtidig fungere som afgrænsning af, hvilke fagmodeller, bygningsdele samt vurderingskriterier prototypen udvikles til at kunne håndtere.

I afsnit 4.3 præsenteres den tekniske løsning. Afsnittet indeholder en beskrivelse af de enkelte workflows. Her vil teorier og forudsætningerne identificeret i problemanalysen danne grundlag for udvikling af regelkoderne i prototypen. Til sidste præsenteres prototypens dashboards til visualisering af resultaterne.

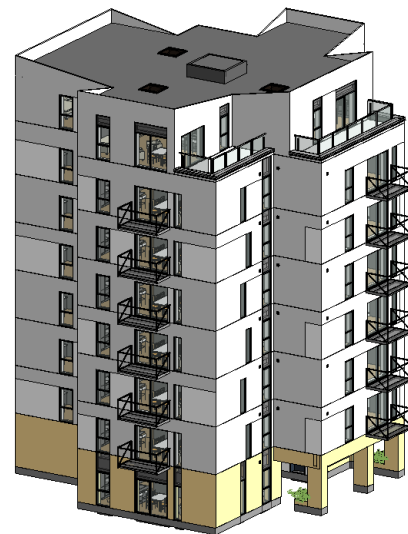
I afsnit 4.4 præsenteres den nye arbejdsproces ved brug af prototypen. Det analyseres, hvorledes prototypen kan være med til at forbedre og effektivisere de tidligere anvendte arbejdsgange hos MTH.

I afsnit 4.5 vil prototypen testes og diskuteres. Her vil kritiske problemstillinger identificeret gennem udviklingen af prototypen testes, diskuteres og evalueres i samarbejde med slutbrugerne.

4.2 Præsentation af case-bygning

I indværende afsnit præsenteres case-bygningen²³, som vil blive anvendt i forbindelse med udvikling af prototypen. Det er et konceptbyggeri, Multiflex, som består af Multiflex Office og Multiflex Living. Multiflex konceptet anvender standardiserede byggetekniske løsninger, som samtidigt indeholder en stor grad af individuel fleksibilitet – konceptet kan sammenlignes med enfamilies typehuse i udvidet format

MTH satser på en fremtidig udbredelse af Multiflex gennem en mere aktiv anvendelse af digitale værktøjer i planlægnings- og udførelsesfasen, svarende til MTH's vision beskrevet i afsnit 1.2.1. Derfor ser MTH et stort potentiale i at kunne validere BIM-modellerne til Multiflex byggerierne, og dermed kunne tage mere gennemtænkte datadrevne beslutninger. Da Multiflex byggerierne altid opføres som totalentrepriser, kan MTH stille krav til modelindholdet. Derfor ses der en stor værdi i at kontrollere BIM-modellernes informationsindhold iht. IKT-aftalen.



Figur 4-2 Case-bygning - Multiflex Living

På baggrund af ovenstående har MTH udleveret en arkitekt-model på hovedprojektniveau fra et Multiflex Living projekt, der på nuværende tidspunkt er under opførelse. Den udleverede case er en etageejendom på syv etager med i alt 29 lejligheder, vist i figur 4-2. På baggrund af en visuel granskning, er modellens geometriske fremtrædende vurderet til LOD niveau 325/informationsniveau 5, hvor bygningsdelenes komplette konstruktionsopbygning er dobbeltprojekteret. Dog indeholder den udleverede model ikke egenskabsdata svarende til samme niveau. Modellen er derfor beriget med egenskabsdata i henhold til bygningsdelsspecifikation - bl.a. brand- og lydklasse. Da MTH for fremtiden vil stille større krav til BIM-modellernes dataindhold, skal disse egenskabsdata naturligvis tilknyttes objekterne.

Udviklingen af prototypen afgrænses af tidsmæssige årsager til at kunne håndtere arkitektmodeller, samt boliger i form af etagebyggeri uden kold kælder. Til venstre i tabel 4-1 ses de vurderingskriterier, som prototypen kan håndtere. Øverst ses, hvilke bygningsdele prototypen kan håndtere, med afkrydsning af hvilke vurderingskriterier prototypen kan kontrollere for hver bygningsdel.

²³ Plan-, snit-, og facadetegninger for casebygningen fremgår af Bilag 1.

Bygningsdele Vurderings- kriterier	Ydervægge	Indervægge	Fundament	Tag	Etagedæk	Terrændæk	Døre	Vinduer
Klassifikation	×	×	×	×	×	×	×	×
Typenavn	×	×	×	×	×	×	×	×
Type	×	×	×	×	×	×	×	×
Placering	×	×	×	×	×	×	×	×
Dimensioner	×	×	×	×	×	×	×	×
Materialer	×	×	×	×	×	×	×	×
Areal og volumen	×	×	×	×	×	×	×	×
U-værdi	×	×		×		×	×	×
Lydklasse	×	×		×	×			
Brandklasse	×	×		×	×			

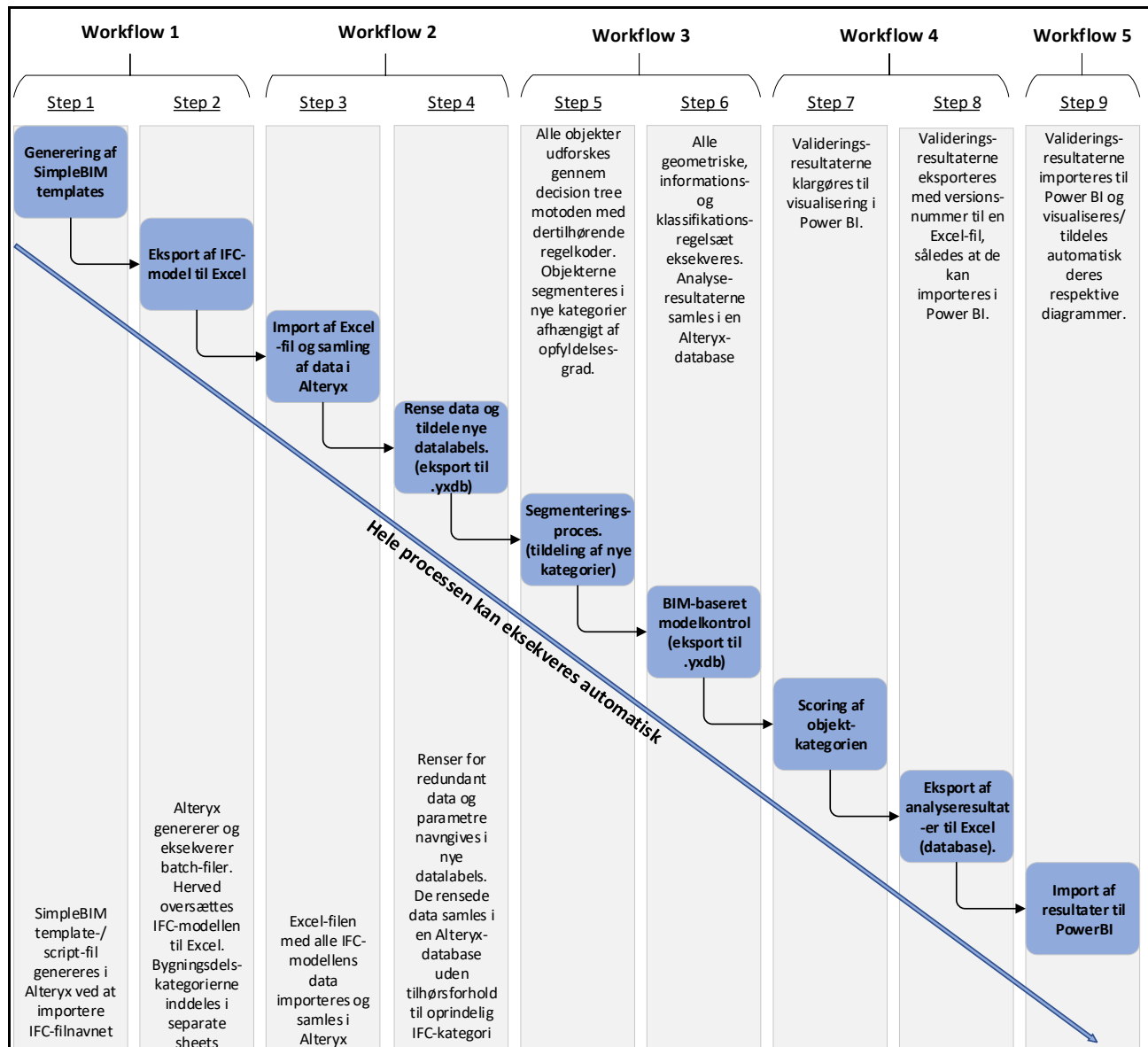
Tabel 4-1 Bygningsdele og vurderingskriterier der vil kontrolleres i prototypen

For at kunne teste prototypens funktionalitet, er der indlejret en række fejl i egenskabsdata ud over de allerede eksisterende fejl, der fandtes i modellen. Fejlene indbefatter parameternavngivning og egenskabsværdier.

4.3 Løsningsforslag / prototype

I det følgende præsenteres prototypens tekniske proces, som skal danne grundlag for MTH's kommende løsning til validering af dataindholdet i BIM. Prototypen er udviklet med baggrund i teorierne og den teknologiske analyse i problemanalysen.

Grundet løsningsforslagets omfang, er den samlede prototype opdelt i mindre workflows, som er illustreret i figur 4-3. Hvert workflow er opdelt i et mindre antal steps, som beskrives i indeværende afsnit.



Figur 4-3 Prototypens tekniske proces

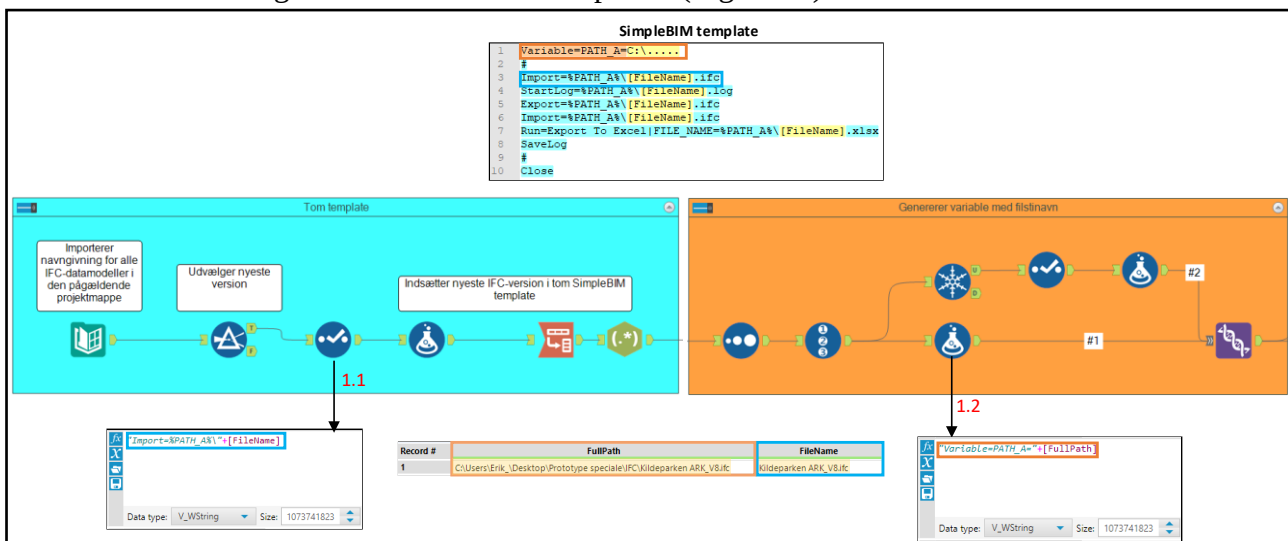
Beskrivelsen af workflow 2, 3, 4 og 5 vil tage udgangspunkt i udvendige vægge, da bygningsdelen er omfattet af samtlige vurderingskriterier.

4.3.1 Oversættelse af IFC-data til Excel (Workflow 1)

I afsnit 3.7.2 blev det belyst, at Alteryx ikke kan håndtere IFC-data og at det derfor var nødvendigt at finde et software der kunne oversætte IFC-data til Excel. Til dette er valgt SimpleBIM på grund af dets åbne API, hvor templates/scripts kan eksekveres automatisk direkte gennem batchfiler. Disse scripts kan indarbejdes i Alteryx og derved skabes en fuldautomatisk eksekvering. Denne løsning præsenteres i det følgende. (Bemærk at de enkelte steps kan være opdelt med undernumre i figurerne, fx **step 1.1** i figur 4-4).

Step 1 Generering af SimpleBIM template

Første step i workflowet behandler generering af SimpleBIM template. For overblikkets skyld er workflowene farvelagt iht. delelementer i template (Figur 4-4).

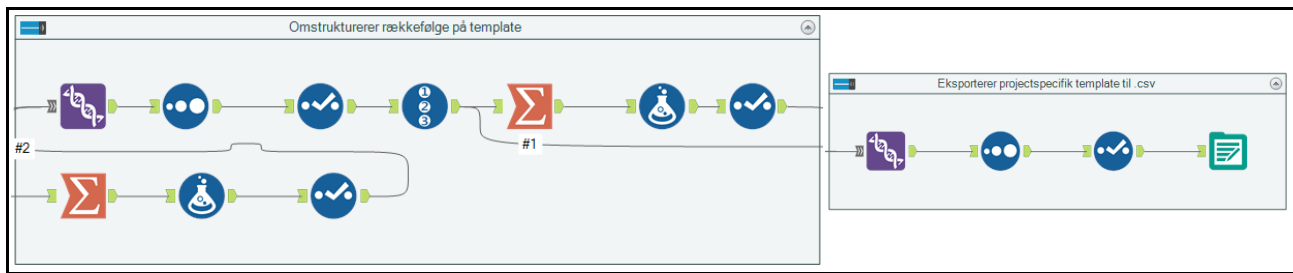


Figur 4-4 Generering af SimpleBIM template til automatisk import af IFC-bygningsmodel og eksport til Excel.

Blå: Den tomme template. Orange: Variable der fortæller filstien til IFC-bygningsmodellen. Gul: De projektspecifikke inputs

Første del af det blå workflow importeres samtlige versioner af IFC-bygningsmodeller. Da kun den nyeste version ønskes eksporteret til Excel, udvælges versionen med højeste nummerering. I midten af figuren af ses "FullPath" og "FileName" fra den specifikke IFC-model, som skal inkorporeres i template.

Noden (1.1) indeholder en del af den tomme template (farvet med blå). Denne type node kan indeholde flere formler i en og samme node. For hver linje i template er der indbygget en formel. Gennem direkte reference til kolonnen "FileName", kan filnavnet indsættes i den tomme template. Næste skridt i processen er at generere variabelen med filstien til IFC-bygningsmodellen (farvet med orange). Node (1.2) indeholder en tom variabel, hvori filstien indsættes. Ved at referere direkte til "FullPath"-kolonnen, knyttes filstien til variabelen.

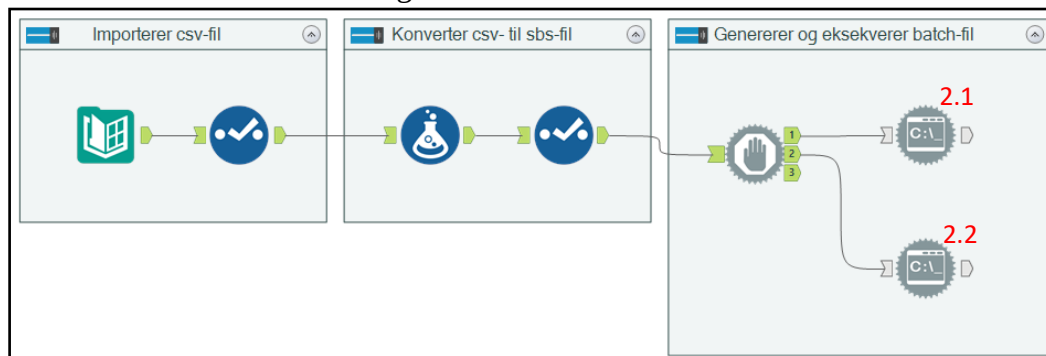


Figur 4-5 omstrukturering af genereret template og eksport til .CSV

I sidste del af step 1 (figur 4-5) omstruktureres den nye genererede template, således at variabelen med filstien (det orange) placeres øverst og import/eksport-delen (det blå) placeres nederst. Til sidst eksporteres den projektspecifikke template til en CSV-fil, som skal anvendes i det videre workflow.

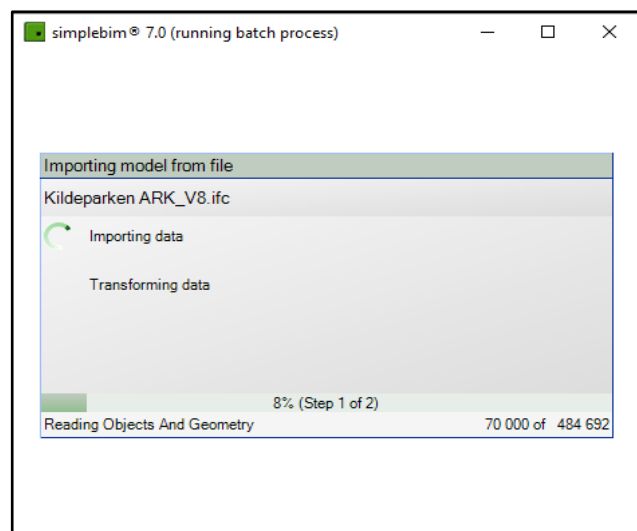
Step 2 Eksport af IFC-model til Excel

I step 2 importeres filstien til den ny genererede template. For at SimpleBIM kan eksekvere template, skal denne konverteres til SimpleBIM's eget filformat (.sbs). Dette gøres ved brug af formula-værktøjet, hvor .csv erstattes af .sbs i slutningen af filnavnet.



Figur 4-6 Generering af batchfil, der kan eksekveres gennem "run-command"-værktøjet

I node (2.1) indskrives filstien til template i en batchfil (.txt) og gemmes i en lokalmappe, hvilket gøres direkte fra Alteryx interface ved brug af konfigurationsindstillingerne i *run-command*-værktøjet. Når batchfilen er oprettet, kan den efterfølgende eksekveres. Dette gøres i node (2.2) ved brug af *run-command*-værktøjet, hvor stien til SimpleBIM-programmet samt stien til batchfilen indtastes. Når disse indstillinger er klargjort, kan Alteryx automatisk eksekvere batchfilen, og herved genereres der automatisk en Excel-fil, der indeholder samtlige data fra IFC-bygningsmodellen (figur 4-7).



Figur 4-7 Illustrere batchfil eksekvering, der importer IFC-bygningsmodeller til SimpleBIM og genererer en Excel-fil

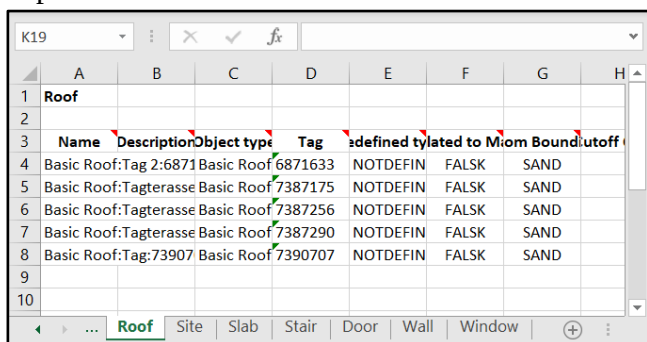
Herefter kan workflow 2 påbegyndes.

4.3.2 Data import og data rensning (Workflow 2)

I indeværende workflow klargøres data til det BIM-baserede modelkontrol. Grundet problemstillingerne med redundant data og parametre med samme anvendelse, som kan forekomme flere gange, er det nødvendigt at rense og kategorisere data under nye datalabels. Herved sikres et ensartet datagrundlag fra projekt til projekt. De enkelte steps i workflowet beskrives i det følgende.

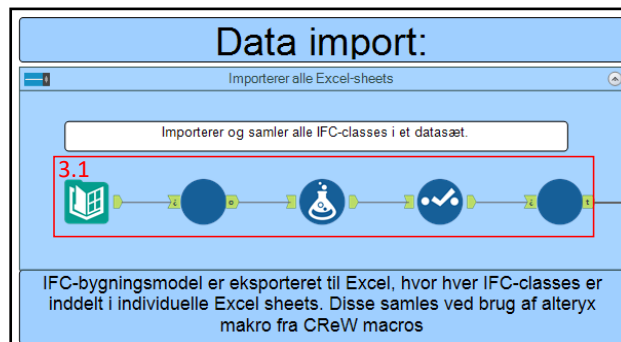
Step 3 Data import og samling

Når workflow 1 er eksekveret, har SimpleBIM genereret en Excel-fil indeholdende alle IFC-modelens data, som kan håndteres i Alteryx. Excel-filen opdeler IFC-bygningsmodellens data iht. deres respektive IFC-classes i individuelle sheets, som vist i figur 4-8. Første step i 3.1 er, at henvise til den nyligt genererede Excel-fil i en lokalmappe, hvorefter hvert enkelt sheet samles i et datasæt. Da Alteryx ikke indeholder en node til at importere samtlige sheets på én gang, anvendes to CReW macroer. Disse macroer er udviklet af en gruppe Alteryx entusiaster. Nu er datasættet klar til at blive rensset for duplikater.



	Name	Description	Object type	Tag	Undefined	Related to	Min Bound	Utloff
4	Basic Roof:Tag 2:6871	Basic Roof	6871633	NOTDEFIN	FALSK	SAND		
5	Basic Roof:Tagterasse	Basic Roof	7387175	NOTDEFIN	FALSK	SAND		
6	Basic Roof:Tagterasse	Basic Roof	7387256	NOTDEFIN	FALSK	SAND		
7	Basic Roof:Tagterasse	Basic Roof	7387290	NOTDEFIN	FALSK	SAND		
8	Basic Roof:Tag:73907	Basic Roof	7390707	NOTDEFIN	FALSK	SAND		

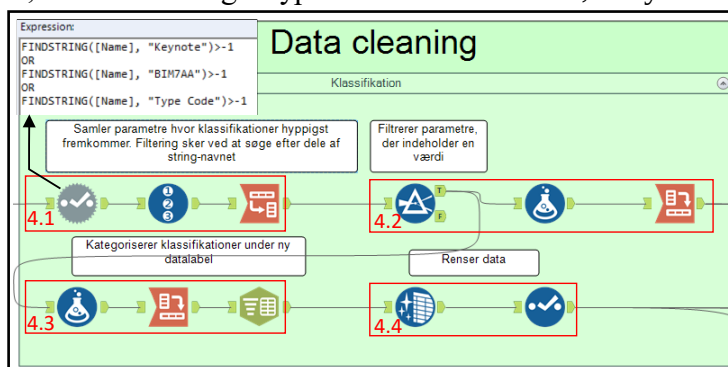
Figur 4-8 Data opdelt i Excel-sheets iht. IFC-classes



Figur 4-9 Data importeres til workflow 3

Step 4 Data rensning

Da et ønske til prototypen er at minimere problemstillingerne ved projektspecifikke ændringer, er der i indeværende workflow forsøgt at skabe en fleksibel løsning, som samler informationer fra forskellige parametre. I step 4.1 anvendes et *dynamic select*-værktøj til at scanne datakilden for flere parametre med samme anvendelse. figur 4-10 illustrerer et konkret eksempel for klassifikationskoder, hvor der søges efter parametrene "Keynote", "BIM7AA" og "Type Code". For at sikre, at systemet kan finde tilbage til de objekter, hvor de identificerede klassifikationer oprindeligt stammer fra, anvendes et *Record-ID*-værktøj, der tildeler alle objekter et unikt ID. I step 4.2 filtreres alle parametre uden værdi fra. Parametre med en værdi navngives under en ny datalabel kaldet "klassifikation". Herved gør systemet sig uaf-



Figur 4-10 Datarensning og parametre samles under nye datalabels. Eksempel for klassifikationskoder

hængigt af de oprindelige parameternavne, da typekoder altid vil forekomme i ”klassifikation”, hvilket skaber en mere fleksibel løsning til de fremtidige workflows.

For at systemet senere hen kan guide brugeren i hvilke parametre, klassifikationsværdien er placeret under, oprettes der i step 4.3 en ny kolonne i Alteryx ved navnet ”klassifikations placering”. Dette kan til dels anses, som et guideelement jf. tabel 3-3. Ved at oprette datalabelen ”klassifikations placering” kan brugeren observere, hvor klassifikationskoden er placeret til hvert enkelt objekt. Resultatet af datalabel-metoden er illustreret i figur 4-11. I step 4.4 renses de pågældende data.

RecordID	Name	Klassifikation	Klassifikations placering
3010	Basic Wall:211001 YDERVÆG SANDWICH - 500 mm.:6667486	211001	BIM7AAType code
3011	Basic Wall:211001 YDERVÆG SANDWICH - 500 mm.:6667487	211001	BIM7AAType code
3012	Basic Wall:211002 YDERVÆG SANDWICH - 528 mm.:6667488	211002	Keynote
3013	Basic Wall:211001 YDERVÆG SANDWICH - 500 mm.:6667489	211001	BIM7AAType code
3014	Basic Wall:211001 YDERVÆG SANDWICH - 500 mm.:6667490	211001	BIM7AAType code
3015	Basic Wall:211001 YDERVÆG SANDWICH - 500 mm.:6667491	211001	BIM7AAType code
3016	Basic Wall:211001 YDERVÆG SANDWICH - 500 mm.:6667492	211001	BIM7AAType code
3017	Basic Wall:211001 YDERVÆG SANDWICH - 500 mm.:6667493	211001	BIM7AAType code

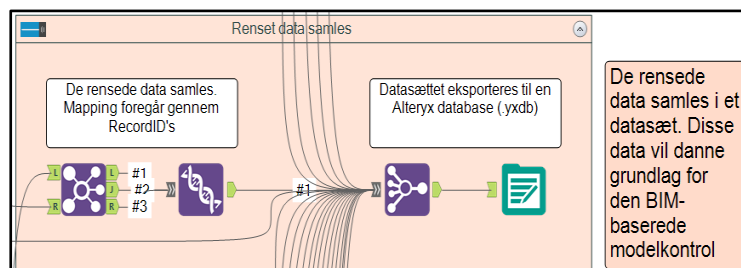
Figur 4-11 Illustration af resultatet ved datalabel-metoden, eksemplet viser udvendige vægge, klassifikationskode og deres placering

Dette workflow sikrer et mere konsistent datagrundlag til den fremtidige BIM-baserede modelkontrol.

I afsnit 3.4.2 blev det konstateret, at flere parametre af samme anvendelse kan forekomme under forskellig navngivning på trods af, at IKT-aftalen sætter klare retningslinjer for parameternavngivning. Ved at oprette nye datalabels kan prototypen altid stole på, at klassifikationskoderne fremkommer under ”klassifikation”. Dette minimere behovet for projektspecifikke ændringer, da prædefinerede kriterier altid er tilgængelige, og derved kan prototypen altid eksekvere de efterfølgende regeltkoder.

For at sikre et mere fuldendt system, er der i denne forbindelse gennemført en analyse af tre andre BIM-projekter. Analysens formål var at undersøge, hvilke parameternavne u-værdi, lydklasse, brandklasse og klassifikationskode oftest forekommer i²⁴. Denne analyse er brugt i forbindelse med opsætning af ovennævnte step 3. Datarensningssprocessen består af i alt 16 nye data-labels. Disse indbefatter både brugerdefinerede-, og maskingenererede parametre, herunder længde, areal og volumen. For eksempel forekommer parameteret for et objekts længde både som ”length” og ”length (type)”. Der er gennem flere forsøg forsøgt at eliminere (type), men uden held. Gennem et studie af flere Autodesk-forums konstateres det, at fejlen opstår i eksporten fra Revit til IFC. Flere Autodesk-brugere udtrykker deres bekymring for denne problemstilling, men der er ikke officielt fundet en løsning på problemstillingen (Autodesk, 2018a).

Sidst i **step 4** samles den rensede data vist i figur 4-12. Dette gøres gennem de tildelte *Record-ID*'s. Derefter eksporteres det samlede datasæt til en Alteryx database, hvorved datasættet kan bruges i næste workflow, der danner grundlag for det BIM-baserede modelkontrol.



Figur 4-12 Renset data samles i Alteryx

²⁴ Resultaterne af analysen fremkommer af appendiks 6.

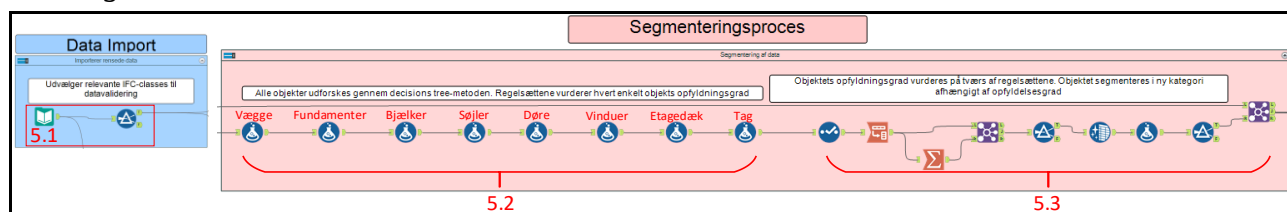
4.3.3 BIM-baseret modelkontrol (Workflow 3)

Nu er datasættet klargjort til den BIM-baserede modelkontrol, hvilket beskrives i det følgende. Første step i processen er at segmentere objekterne under nye kategorier. Derefter kan objekternes geometri, informationer og klassifikation kontrolleres.

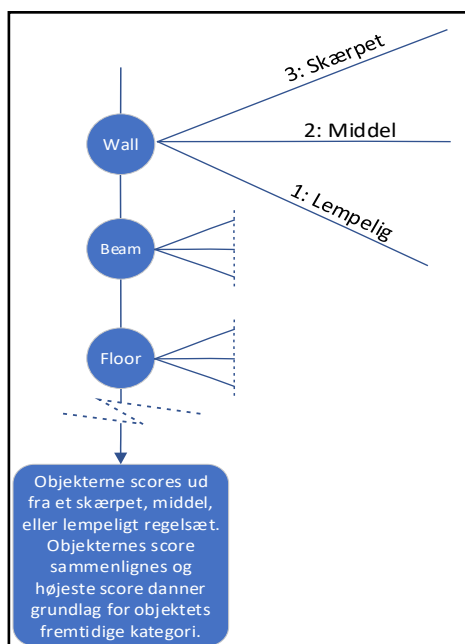
Step 5: Segmenteringsprocessen

Step 5 har til formål at kontrollere, om objekterne anvendes til deres formål, altså om væg er modeleret, som et wall-objekt. I step 5.1 importeres det rensede datasæt fra workflow 2, hvorefter de relevante bygningsdele filtreres, disse kategorier er udvalgt i tabel 4-1.

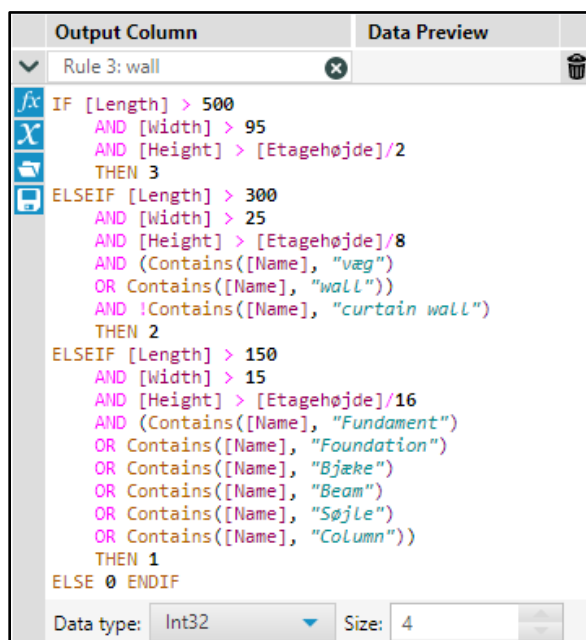
I step 5.2 skal objekternes anvendelse udforskes. Udforskningen af objekterne sker gennem decision tree metoden vist i figur 4-15. Denne metode har til formål at vurdere hvert enkelt objekt ud fra tre kravkategorier: Skærpet, Middel eller Lempelig. Hvis et objekt opfylder et skærpet krav, tildeles det en score på 3, middelkrav 2 og lempelig 1. Hvis ingen af kravene imødekommes, tildeles objektet en score på 0. De opsatte regelkoder tager udgangspunkt i en række kategori-karakteristika for den pågældende objektkategori, figur 4-14 viser regelsættet for vægobjekter. Regelkoderne anvender conditional statements, og boolean operatorer, hvilket tillige gør sig gældende for *validerende* og *indholdsregelkoder*.



Figur 4-13 Data import og segmenteringsproces, udforsker om objektet anvendes til dets formål og tildeler nye objektkategorier.



Figur 4-15 Decision tree metoden anvendt til segmentering af objekter i Alteryx



Figur 4-14 Regelsæt til segmentering af vægobjekter

Når alle objekter for hver enkelt kategori er tildelt en score fra 0-3, sammenlignes scorerne og objektet tildeles en ny objektkategori afhængigt af dens opfyldelsesgrad, dette gøres i step 5.3. Hvis et objekt opnår to ens score tildeles objektet sin oprindelige kategori.

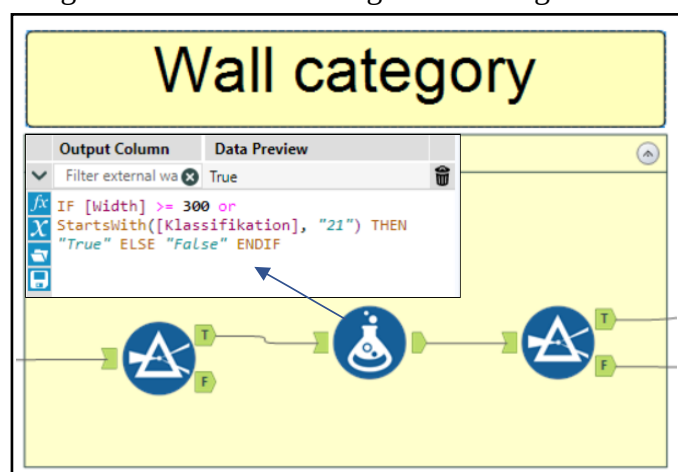
Ovennævnte workflow har til formål at løse flere af de problemstillinger, der blev identificeret i problemanalysen. Først og fremmest udforsker decision tree metoden om objektet anvendes til sit formål, altså om rådgiveren har modelleret objektet korrekt. Er dette ikke tilfældet, kan metoden guide brugeren og identificere om objektet burde have været modelleret under en anden kategori. En anden problemstilling belyst i problemanalyse var, at eksisterende softwareapplikationer eksekverer deres regelsæt på IFC-classes, hvilket kan give et forvrænget analyseresultat. Ved at tildele eksisterende objektkategorier nye kategorinavne, kan regelsættene eksekveres uafhængigt af sin IFC-class.

Step 6: Geometrisk kontrol, informations- og klassifikationskontrol

Objekternes nye kategorier vil danne grundlag for den resterende del af det BIM-baseret modelkontrol. Der vil i beskrivelsen tages udgangspunkt i regelsættene opsat for vægge. Regelsæt for de resterende bygningsdele, samt segmenteringsprocessen fremgår af appendiks 7.

Først udvælges alle objekter i kategorien walls, gennem en filtrering. Da kravspecifikationerne til informationsindholdet for indvendige og udvendige vægge er forskellige, er det nødvendigt at opdele dem i to kategorier (illustreret i figur 4-16). Filtringen tager udgangspunkt i udvendige vægge; hvis vægbredden er over eller lig med 300 mm, eller (or) indeholder en klassifikationskode, der starter med 21 (BIM7AA typekode), opfylder vægobjektet de opsatte kriterier for en udvendig væg. Kriterierne for en udvendig væg er opsat med afsæt i det identificerede BIM maturity level 2. Det forventes at objekter bliver modelleret som en samlet konstruktion, uafhængigt af modelleringsgrænseflade og at de derfor som minimum har en bredde på 300 mm som følge af energimæssige krav. Væggene, der ikke opfylder reglen for en udvendige vægge, kategoriseres som "false" og må af den grund være indvendige vægge.

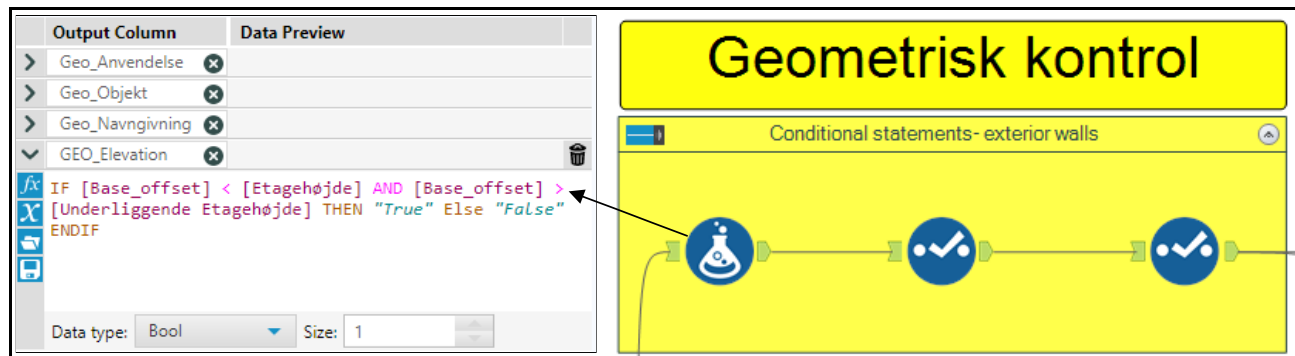
Efter at vægobjekterne er opdelt, kan de egentlige regelsæt til validering af informationsindholdet opsættes. Regelsættene er opsat med udgangspunkt i de seks vigtigste af MTH's regler for god modelleringsdisciplin. For overblikkets skyld er reglerne delt op i tre kategorier, identificeret i problemanalysen; Geometrisk kontrol, Informationskontrol og Klassifikationskontrol. Ved udvikling af regelsættene er der taget udgangspunkt i teorierne for BIM-baseret modelkontrol.



Figur 4-16 Filtring af indvendige og udvendige vægge.

Geometrisk kontrol

I det følgende beskrives de geometriske regelkoder:



Figur 4-17 Workflow 3: Geometrisk kontrol: eksempel "Objektet skal være forbundet den korrekte etage"- regelsæt (Geo_elevation)

Geo_Anvendelse²⁵: I dette regelsæt kontrolleres om objektet anvendes til sit korrekte formål. Her sammenlignes den oprindelige objektkategori med den nye kategori, der blev identificeret i segmenteringsprocessen (step 5).

Geo_Objekt²⁶: Regelsættet har til formål at kontrollere, om ydervæggene er modelleret som objekter. Objekterne må i henhold til MTH's modelleringsdiscipliner ikke modelleres som "Generic objects" eller "model-in-place". Generic objects er nemme at registrere, da denne type objekter tildeles sin egen IFC-class. Derimod er "model-in-place" sværere at identificere, da disse modelleres under eksisterende bygningsdelskategorier i modelleringssoftwaret. Forskellen mellem model-in-place-objekter og "korrekte"-objekter er, at navngivning i model-in-place-objekter fremkommer to gange i datakilden. Hermed anvendes denne karakteristik til, at identificere om objekter er modelleret som et model-in-place. Problemstillingen ved model-in-place-objekter er, at disse ikke indeholder gængse parametre for objektkategorien og derved ikke aktivt kan anvendes til analyser, simuleringer eller andet.

Geo_Navngivning²⁷: kontrollerer om objekter er navngivet konsistent. I henhold til MTH's standard skal objekter navngives med en unik klassifikationskode, og en beskrivelse (f.eks. 213001 Ydervæg Tegl – 500 mm). Regelsættet kontrollerer derfor om klassifikationskoden identificeret i workflow 2, stemmer overens med klassifikationskoden i typenavnet.

Geo_Elevation²⁸: Regelsættet kontrollerer om objektet er forbundet den korrekte etage. Regelkoden for regelsættet er illustreret i figur 4-17. Da alle objekter per definition er tilknyttet en etage, kan

²⁵ MTH modelleringsdisciplin: Objekter skal anvendes sit formål.

²⁶ MTH modelleringsdisciplin: Modellen består af objekter.

²⁷ MTH modelleringsdisciplin: Objektnavngivning skal være konsistent.

²⁸ MTH modelleringsdisciplin: Objekter er forbundet til den korrekt etage.

objektets forskydning på z-aksen udforskes. Hvis "base offset"²⁹ er *større* eller *lig med* den pågældende etagehøjde, eller hvis "base offset" er *mindre end* eller *lig med* den underliggende etagehøjde, er objektet tilknyttet den forkerte etage.

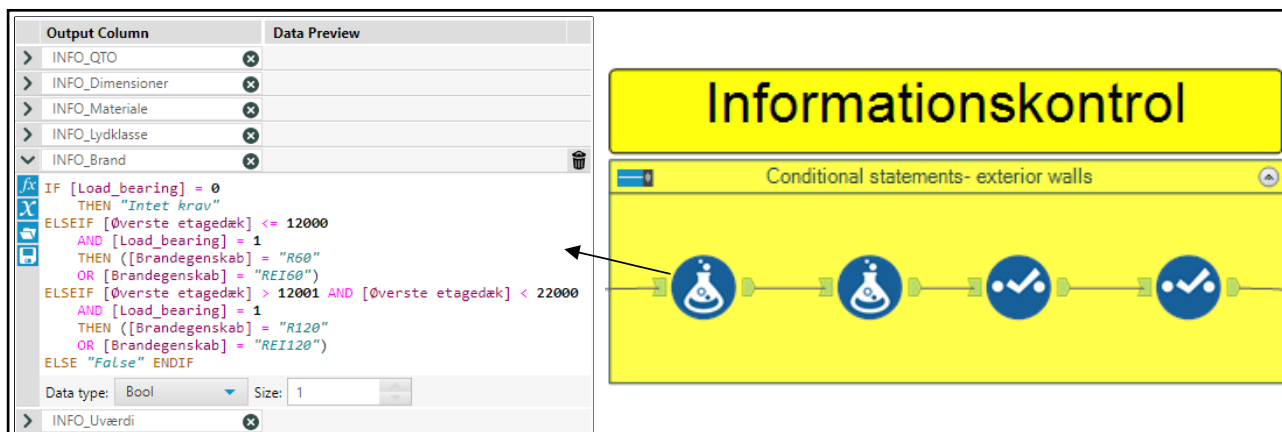
Til dette regelsæt er det nødvendigt at tilføje ekstra data (nye datalabels) til hvert enkelt objekt, der beregner den pågældende etagehøjde samt underliggende etagehøjde. Disse data er tilføjet i datarensningssprocessen i workflow 2. Ved at opsætte en række matematiske formler udregnes differensen mellem de pågældende etagehøjder. Ved brug af de førnævnte *Record-ID*'s kan de nye datalabels ("underliggende etage" og "etagehøjde") knyttes til hvert enkelt objekt, som illustreret i figur 4-18. Dette er endnu et eksempel på, hvorledes det er muligt at manipulere med data i Alteryx og derved øge fleksibiliteten i regelsættene.

Elevation_name	Project_basepoint	Underliggende Etagehøjde	Etagehøjde	RecordID	Name
Niv. 0	10000	-1100	3241	2656	Basic Wall:213001 YDERVÆG TEGL - 500 mm.:4292830
Niv. 1	13241	-3241	2900	2666	Basic Wall:211001 YDERVÆG SANDWICH - 500 mm.:4296094
Niv. 2	16141	-2900	2900	2770	Basic Wall:211001 YDERVÆG SANDWICH - 500 mm.:6667292
Niv. 3	19041	-2900	2900	2791	Basic Wall:211002 YDERVÆG SANDWICH - 528 mm.:6667391
Niv. 4	21941	-2900	2900	2792	Basic Wall:211001 YDERVÆG SANDWICH - 500 mm.:6667392
Niv. 5	24841	-2900	2900	2838	Basic Wall:211001 YDERVÆG SANDWICH - 500 mm.:6667594
Niv. 6	27741	-2900	3241	2850	Basic Wall:211001 YDERVÆG SANDWICH - 500 mm.:6667684
Niv. 7	30982	-3241	2900	3056	Basic Wall:211002 YDERVÆG SANDWICH - 528 mm.:6969082

Figur 4-18 Data vedrørende etagehøjder tilknyttes hvert objekt

Informationskontrol

Informationskontrollen har til formål at udforske, om de aftalte egenskabsdata er tilstede og korrekte³⁰. Som beskrevet i afsnit 4.2 er modellen beriget med egenskabsdata iht. informationsniveau 5. Figur 4-19 viser, hvilke egenskaber, der kontrolleres for udvendige vægge. Disse beskrives i det følgende.



Figur 4-19 Workflow 3: informations kontrol: Eksempel fra brandklasse regelsæt (INFO_brand)

INFO_QTO: Regelsættet kontrollerer, om objektet indeholder mængder i form af areal og volumen.

²⁹ Base offset er en funktion i modelleringsprogrammet Revit der kan forskyde et objekt op og ned på z-aksen.

³⁰ MTH modelleringsdisciplin: Modellen indeholder aftalte egenskaber.

INFO_Dimensioner: Regelsættet kontrollerer, om objektet indeholder dimensioner i form af højde, længde og bredde.

INFO_Materiale: Regelsættet kontrollerer, om objektet indeholder materialer. Da objekter typisk indeholder flere materialer, kontrolleres hvert enkelt materialelag. Regelsættet tjekker for både unavngivne materialer (Unnamed) og generiske materialer (Generic). Hvis et af de to forekommer, vil regelsættet resultere i "false".

INFO_Uværdi: Regelsættet kontrollerer, om den samlede konstruktionsopbygning opfylder mindstekravet for klimaskærme. For de pågældende udvendige vægge er mindstekravet til u-værdien 0,3 W/mK³¹. Hvis u-værdien er lig med eller lavere end mindstekravet er regelkoden "Sand".

INFO_Lydklasse: Regelsættet kontrollerer, om den samlede konstruktionsopbygning opfylder mindstekravet til lydtrykniveau for lydklasse C for boliger³². Lydklassen for udvendige vægge skal være lig med eller mindre end 30 dB.

INFO_Brand: Forskellen fra de øvrige regelsæt og indeværende regelsæt er, at denne regelkode tager forbehold for flere kontekstuelle forhold. Regelsættet er udarbejdet med afsæt i "Eksempelsamlingen om brandsikring af byggeri 2012". Lovgivningen for brandklasse dikterer, at bærende udvendige vægge skal opfylde brandklasse R60, hvis øverste etagedæk er mindre end 12 meter over terrændæk. Derimod skal bærende udvendige vægge opfylde brandklasse R120, hvis øverste etagedæk er over 12 meter over terrændæk, men under 22 meter. I Alteryx er muligt at opsætte en matematisk formel til beregning af højden til øverste etagedæk gennem BIM-modellens "level's", og derved kan specifikke brandkrav kontrolleres afhængigt af højden på bygningen (figur 4-19). Regelsættet viser muligheden for at opsætte generiske regelkoder, som ikke bygger på faste værdier og derved minimerer behovet for projektspecifikke ændringer.

Dette imødekommer problemstillingerne identificeret i problemanalysen afsnit 3.6.1, hvor det blev konkluderet, at SMC kun muliggør opsætning af regelkoder ved faste værdier og flere kontekstuelle forhold ikke kunne indlejres i eksisterende regelsæt-skabeloner.

Klassifikations kontrol

Sidste kontrolgruppe er klassifikation, her tjekkes om objektet indeholder de første to til tre cifre jf. BIM7AA-klassifikationssystem. Da løbenummeret er projektspecifikke, er disse ikke kontrolleret.

Efter at alle regelsæt i workflow 3 er eksekveret. Eksporteres alle valideringsresultaterne til en Alteryx database, hvormed de kan anvendes i prototypens næste sidste workflow.

³¹ Jf. Bygningsreglementet 2018 stk. 11 § 257

³² Jf. DS490 Klasse C Støj indendørs fra trafik

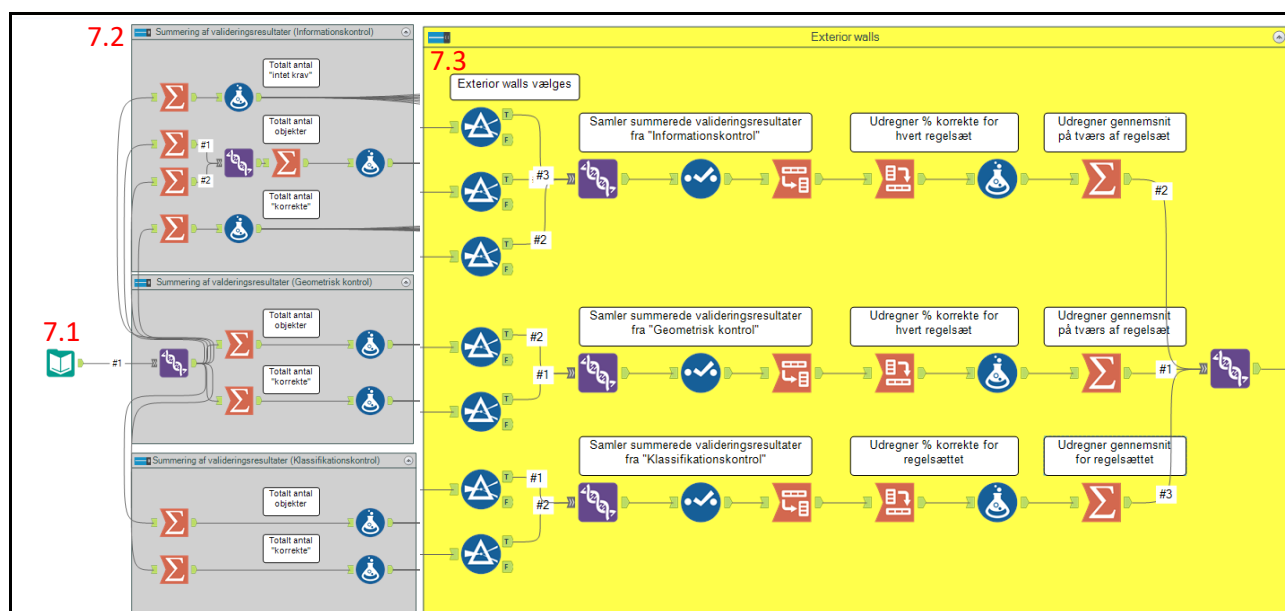
4.3.4 Klargøring af valideringsresultater til Microsoft Power BI (Workflow 4)

For at gøre valideringsresultaterne anvendelige i datavisualiserings softwaret Power BI, skal kontrolresultaterne fra workflow 3 først klargøres. Et udsnit af det samlede workflow er illustreret i figur 4-20.

I step 7.1 importeres resultaterne fra workflow 3. I step 7.2 summeres valideringsresultaterne i kategorierne: informationskontrol, geometrisk kontrol samt klassifikationskontrol. Til hver objektkategori summeres det totale antal objekter, de totale antal korrekte, og de totale antal objekter som ikke skal opfylde et krav.

I step 7.3 opdeles resultaterne i deres respektive objektkategori, og der beregnes en procentmæssig opfyldelsesgrad til hver enkelt kontrolgruppe på objektkategoriniveau.

Denne beskrivelse er kun et lille udpluk af, hvordan valideringsresultaterne klargøres til datavisualisering. Fremgangsmåde for de resterende workflows er mere eller mindre den samme.

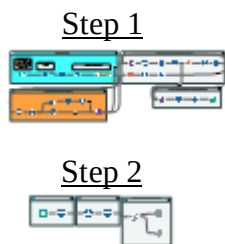


Figur 4-20 Workflow 4: til klargøring af valideringsresultater til Power BI

Til sidst lagres resultaterne i Excel med et tilknyttet versionsnummer, der er udtrykt af IFC-filnavnet. Hver gang en ny model loades op til projektweb eller en bestemt mappe, eksekveres modeltjekket og lagrer de nye valideringsresultater i Excel-dokumentet.

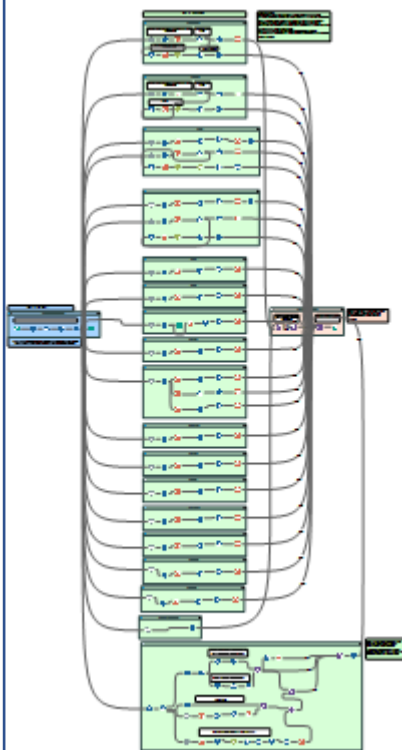
Nedenstående side illustrerer prototypens samlede omfang.

Workflow 1



Workflow 2

Step 3 & 4



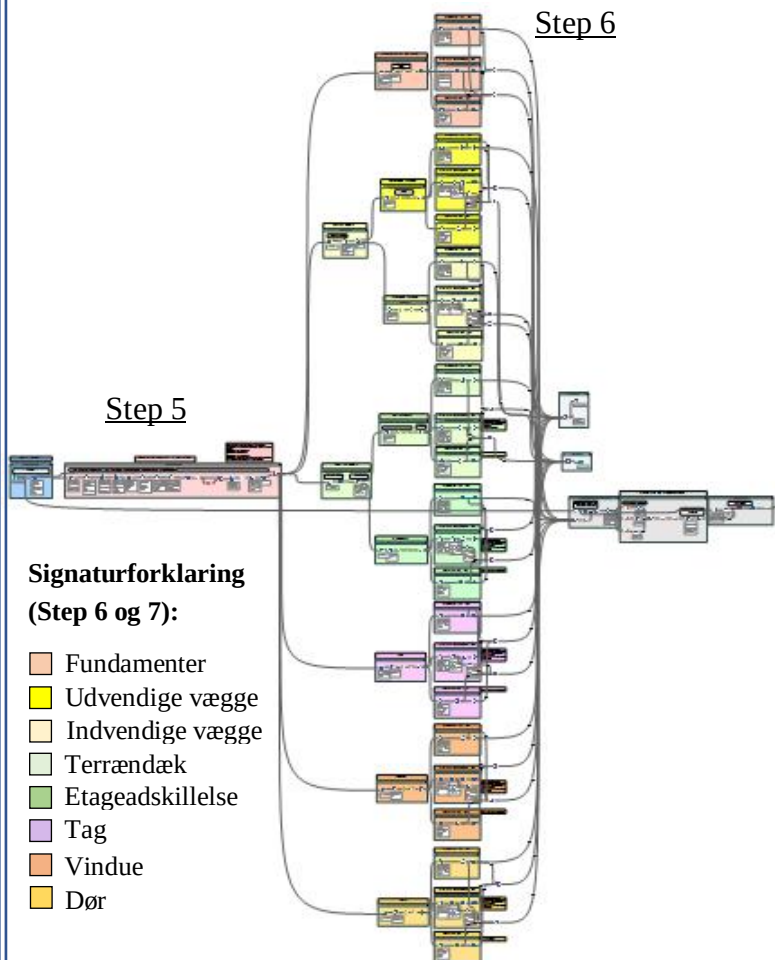
Workflow 3

Step 6

Step 5

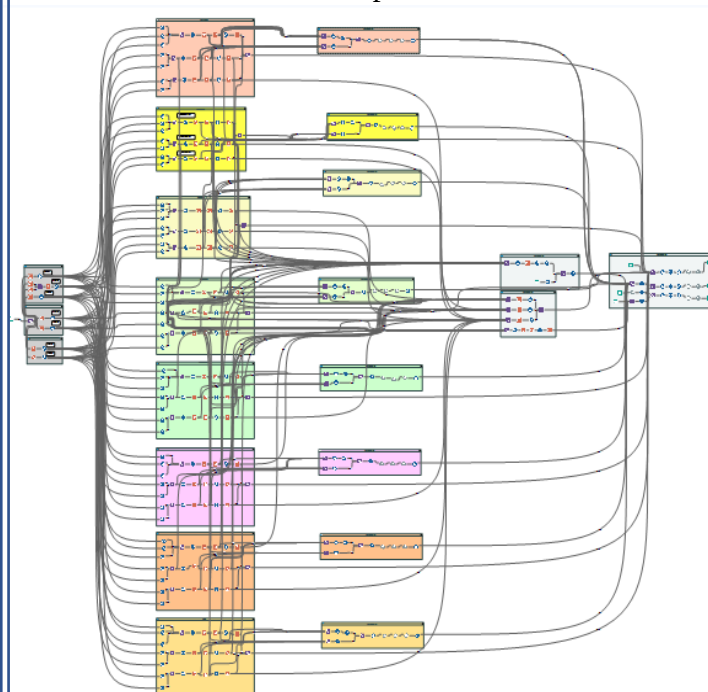
Signaturforklaring (Step 6 og 7):

- Fundamenter
- Udvendige vægge
- Indvendige vægge
- Terrændæk
- Etageadskillelse
- Tag
- Vindue
- Dør



Workflow 4

Step 7



Figur 4-21 Prototypens samlede workflow i Alteryx

4.3.5 Opsætning af digitale dashboards i Power BI (Workflow 5)

Modelvalideringen hos MTH ikke haft den ønskede effekt, hvilket bl.a. skyldes dårlige værktøjer til kommunikation. Et af kravene til projektet er at forbedre kommunikationsmulighederne og i problemanalysen argumenteres der for brug af visualisering. I afsnit 3.8.1 blev datavisualiseringsværktøjet Microsoft Power BI vurderet til at være et ideelt værktøj til dette, hvorfor softwaret anvendes i indeværende prototype. Der udvikles dashboard-løsninger, som i videst muligt omfang implementerer systembrugernes ønsker og ideer.

Der er til prototypen opsat 18 forskellige interaktive dashboards med visualiseringer, der præsenterer valideringsresultaterne fra den BIM-baserede modelkontrol³³. De 18 dashboards består af en forside, der angiver BIM-modellens overordnede status ved seneste modelvalidering, et dashboard der monitorer modellens udvikling, samt to dashboards for hver bygningsdel, der detaljeret specificerer valideringsresultaterne.

De forskellige illustrationer i dashboard er farvekodet således at brugeren nemt og enkelt kan skabe sig et overblik.

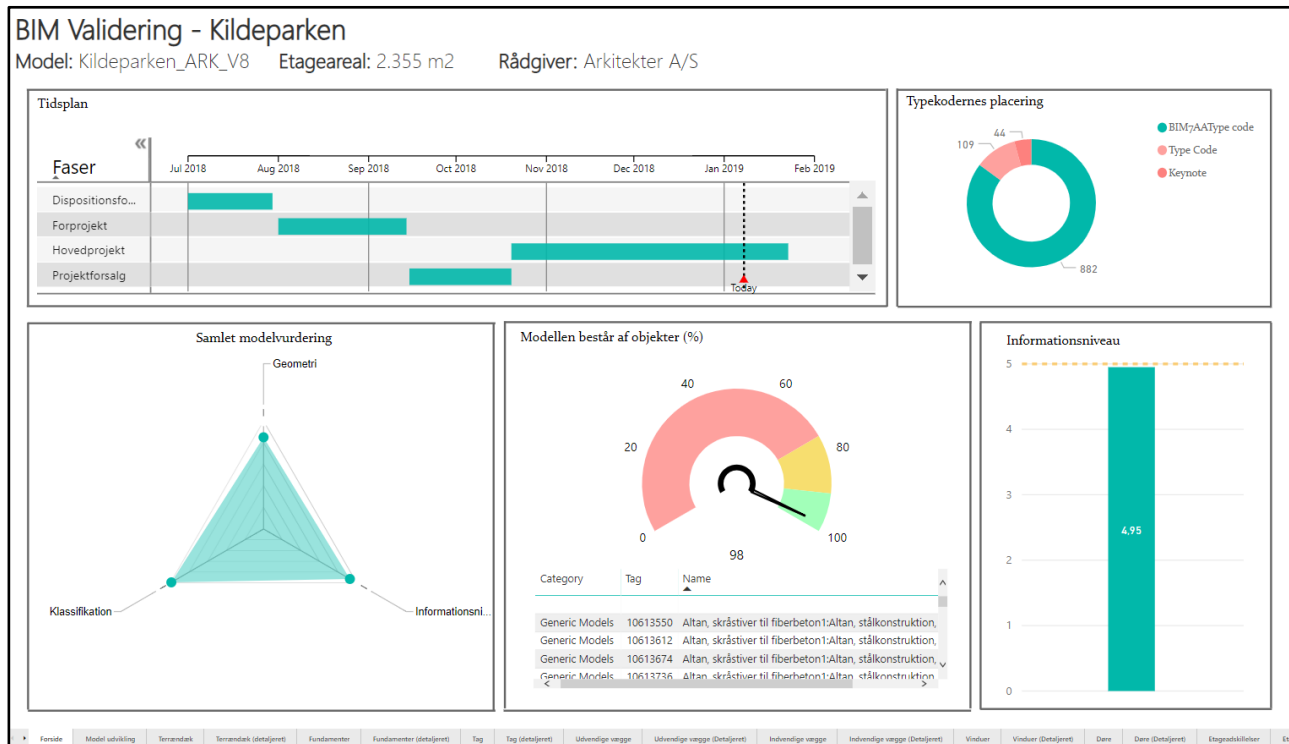
- **Grøn** illustrerer de ”korrekte” værdier jf. MTH’s modelleringsdiscipliner og IKT-aftalens kravspecifikationer.
- **Gul** illustrerer ”intet krav” og repræsenterer de objekter, hvor kravspecifikationerne af forskellige årsager ikke er gældende.
- **Rød** illustrerer fejl eller manglende værdier jf. MTH’s modelleringsdiscipliner og IKT-aftalens kravspecifikationer.

De forskellige dashboards præsenteres løbende i de kommende afsnit.

Forside

Figur 4-22 illustrerer forsiden, som viser modellens status ved seneste modelvalidering. Forsiden indeholder en overordnet projekteringsplan, så IKT- og projekteringslederen kan sammenholde modellens status med valideringsresultaterne til informationsniveau 5. I de tidligere faser, hvor aftale informationsniveauet er lavere, kan Alteryx prototypen nedskalleres. Under tidsplanen vises den **samlende modelvurdering** opdelt i førnævnte kategorier for geometri, klassifikation og informationer. Jo større en andel af diagrammet, der er udfyldt, desto tættere er modellen på at opfylde informationsniveauet for fasen. Til højre ses et barometer, der illustrer den procentandel af **modellen, der består af objekter**. Under barometeret ses en liste af ”Generic Models” og ”Model-in-place”. Nederst i højre hjørne ses en samlet vurdering af **informationsniveauet**, med en mållinje for projekteringsfasen. Sidste diagram på forsiden illustrerer, hvor **typekoderne er placeret** i modellen. Denne information er medtaget på forsiden, da klassifikationskodning har væsentlig betydning for MTH’s arbejde med modellerne.

³³ Alle dashboards med beskrivelse af hvilke udfald prototypen har registreret kan ses i appendiks 8.



Figur 4-22 Forside - Power BI dashboard

Visualisering af modelvalidering på bygningsdelsniveau

Forsiden giver et indblik i modellens samlede præstation, men det er ligeså interessant at forstå hvorledes modellens enkelte objektkategorier præsterer. Figur 4-23 illustrerer et dashboard for en udvendig væg. Her fremgår en **samlet vurdering** af bygningsdelen. Brugeren har mulighed for at udforske resultaterne af hvert enkelt regelsæt for **Informationsindhold** og **Geometri** og **Klassifikationskoder**. Dette giver en detaljeret indsigt i, hvorledes bygningsdelen præsterer i henhold til de opsatte kravspecifikationer i IKT-aftalen. Kvalitetsvurderingen viser blandt andet, at 23 ydervægge indeholder forkert brandklasse. Grundet bygningens højde bør brandklassen være R120, men de 23 udvendige vægge indeholder en brandklasse på R60³⁴. Disse fejl kan have stor indvirkning på efterfølgende arbejdsopgaver i udførelsen, hvilket blev belyst af Martin Kejser, der fortalte om fejlbestilling af materialer, grundet fejlbehæftede data i projekt materialet.

Nederst har brugeren mulighed for at få indsigt i, hvor **værdierne for hver enkelt parameter er placeret**. Det ses blandt andet at 83% af værdierne for lydegenskab er placeret på parameteret "Lydkrav", hvorimod IKT-aftalen dikterer, at lydklasse bør være placeret i parameteret "Acoustic rating". Den manglende konsistens i værdiplacering på parametre, er kilde til forvirring, hvilket oftest fører til, at visionerne om aktiv anvendelse af modellerne falder på gulvet. Ved anvendelse af prototypen kan de ovennævnte problemstillinger løbende opdages og adresseres gennem projekteringsfasen.

³⁴ Projektgruppen har indlejret denne fejl for, at teste prototypens funktionalitet.



Figur 4-23 Udvendige vægge - Power BI dashboard

Som tillæg til dashboard på bygningssdelsniveau er der udarbejdet et detaljeret dashboard, illustreret i figur 4-24. Visualiseringerne viser i store træk det samme, men med mulighed for at udforske eventuelle problemstillinger på instance-niveau. Brugeren kan trykke på hvert enkelt objekt i listen for at se, hvorledes de enkelte objekter præsterer med afsæt i hvert enkelt regelsæt.



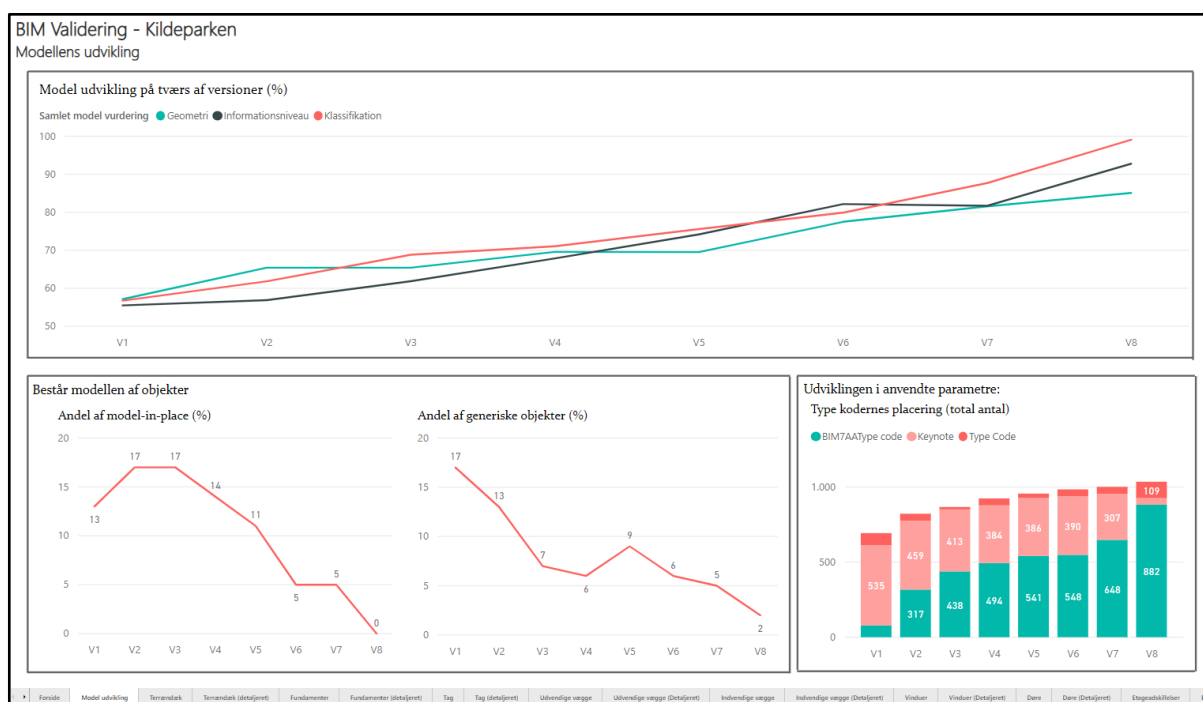
Figur 4-24 Udvendige vægge (detaljeret) - Power BI dashboard

Da de viste dashboards er interaktive er der ligeledes mulighed for at trykke på visualiseringerne, hvorved objekterne bliver isoleret i listen. Trykkes der for eksempel på visualiseringen, hvor U-værdi

er ”false”, bliver udvendige vægge med manglede eller forkert U-værdi vist i listen. Da listen indeholder Revit identifikationsnumre (tag), er det muligt at spore tilbage til objektet i modelleringsapplikationen. Tillige indeholder datakilden ifcGUID, så det er også muligt at gøre det samme for andre modelleringsapplikationer.

Modellens udvikling

En af kravspecifikationerne til prototypen er at kunne monitorere modellernes udvikling løbende gennem projekteringen. Figur 4-25 illustrer et dashboard, der sammenligner forskellige modelversioner. Dette er muligt, da prototypen lagrer valideringsresultater fra tidligere version i Excel-filen. Valideringsresultaterne fra version 1-7 er fiktive, men giver et indblik i muligheden for monitorering af fagmodellens udvikling, hvorimod version 8 valideringsresultaterne eksekveret af indeværende prototypen. Modellens overordnede udvikling kan monitoreres i henhold til de overordnede kategorier: geometri, information og klassifikation. Herudover kan andelen af Model-in-place og Generiske objekter samt typekodernes placering følges. Funktionen giver IKT- og projekteringsledelsen mulighed for at agere proaktivt, da uhensigtsmæssigheder, fejlbehæftede og manglende data løbende kan opdages og elimineres, hvilket ikke har været muligt før. Tillige sikrer prototypen, at IKT-aftalens kravspecifikationer overholdes, hvilket heller ikke har været muligt at monitorere før. Dette gavner ikke kun projekteringsledelsen, men tillige den enkelte rådgiver, da eliminering af fejlbehæftede data muliggør, at rådgiverne selv kan anvende modellerne aktivt i projekteringsfasen.



Figur 4-25 Samlet modelvurdering - Power BI dashboard

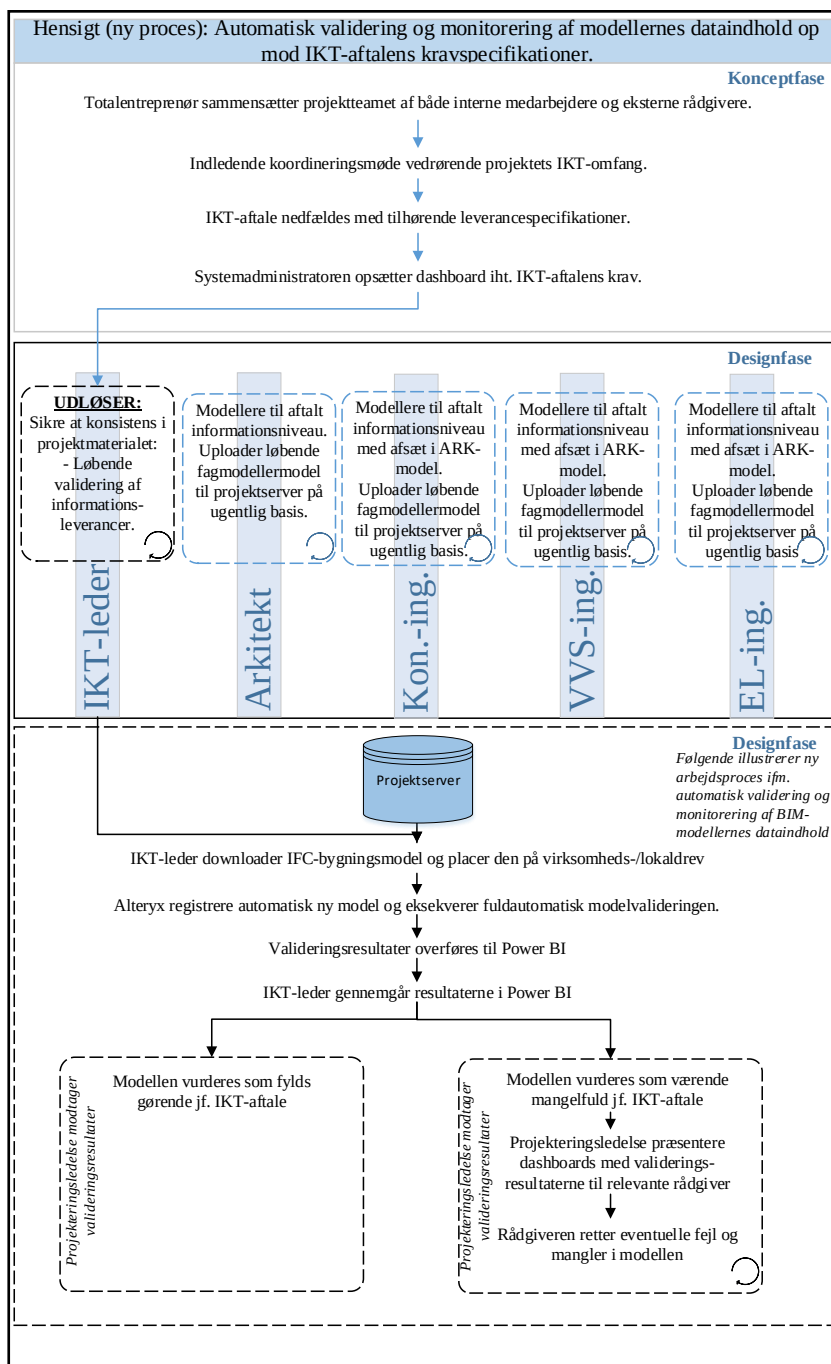
Indeværende afsnit har beskrevet prototypens tekniske proces, i linket nedenfor kan de 18 interaktive dashboards tilgås:

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojYjZjNjczM2EtMjc5YS00ZTg4LWE4YmUtM2FjOGZmZmIxYWFlIiwidCI6ImY1ZGJiYTQ5LWNlMDYtNDk2Zi1hYzNlLTBjZjE0MzYxZDkzNCIsImMiOjB9>

4.4 Ny arbejdsproces ved brug af prototypen

I afsnit 4.3 er det belyst, hvorledes det er muligt automatisk at validere dataindholdet i BIM-modeller. Denne løsning ændrer måden hvorpå, MTH hidtil har forsøgt at validere dataindholdet i BIM-modeller. Prototypen kan tillige anses, som en løsning for projekterende virksomheder, der måtte være to-talrådgivere. Sekvensmodellen illustrerer, hvordan løsningsforslaget har påvirket arbejdsprocesserne trin for trin. Figur 4-26 belyser, at arbejdsgangene for konceptfasen stort set er uændrede i forhold til den tidligere sekvensmodel i afsnit 3.1.1. Den eneste forskel er, at systemadministratoren skal opsætte prototypens dashboards i henhold til IKT-aftalens krav på det enkelte projekt.

Løsningsforslaget ændrer derimod markant måden, hvorpå dataindholdet i BIM valideres i designfasen. Rådgiverne (arkitekten, konstruktions-, VVS- og EL-ingeniørerne mfl.) udarbejder stadig deres fagmodeller til det aftalte informationsniveau. Rådgiverne uploader løbende deres respektive fagmodeller gennem designfaserne, til en fælles projektserver.



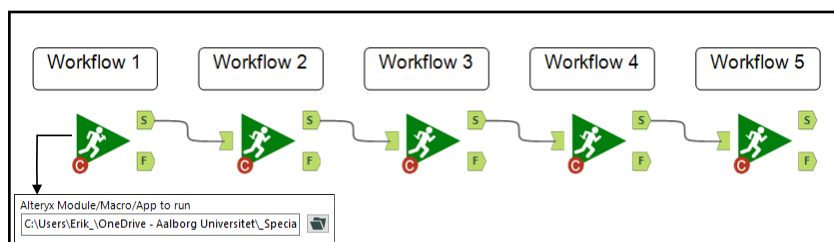
Figur 4-26 Opdateret sekvensmodel ved brug af indeværende prototype.

I den tidligere sekvensmodel opstod problemstillingen ved, at IKT- og projekteringsledelsen kun ved udgangen af hovedprojekt-fasen validerede informationsindholdet i BIM-modellerne gennem en Design QA. Grundet de ressourcekrævende kvalitetssikringsprocesser blev arbejdet sendt til MTH's vietnamesiske afdeling. Selve kvalitetsvurderingen tog én

arbejdsuge at udføre, og resultatet af Design QA'en blev kommunikeret i form af et langt PDF-dokument. Fejl og mangler i modellerne blev sjældent udbedret af rådgiverne, da analysen kun blev udført en gang, og oftest ved udgangen af hovedprojektet. Dermed måtte MTH oftest acceptere fejlene i modellen med en negativ påvirkning til følge, hvilket minimerede muligheden for at anvende modeller aktivt i udførelsen til datadrevne beslutninger.

Denne problemstilling kan imødekommes ved at anvende projektets prototype. Først downloader IKT-lederen IFC-bygningsmodellen og placere den på et relevant virksomhedsdrev. Ved brug af Alteryx Server³⁵ kan prototypen selv registrere den nye model og fuldautomatisk eksekvere modelvalideringen. Power BI Pro³⁶ versionen gør det muligt at automatisk overføre valideringsresultaterne til de opsatte dashboards, da Alteryx og Microsoft Power BI er kompatible med hinanden. I indeværende prototype er Alteryx Designer og Microsoft Power BI Desktop anvendt, og derfor kræver eksekveringen ét klik og en manuel import af Excel-dokumentet til Power BI – men der er potentiale for en fuldautomatisk proces.

IKT-lederen kan gennemgå resultaterne af modelvalideringen og hurtigt skabe sig et overblik over modellernes status i forhold til IKT-aftalens kravspecifikationer. Viser analyseresultaterne fejl og mangler, kan IKT-lederen fremsende eller fremvise de aktuelle dashboards til næste projekteringsmøde eller dele weblinket til rådgiverne og derved sikre at fejlbehæftede eller manglende data adresseres. Sidst men ikke mindst har IKT-lederen muligheden for at monitorere modellens udvikling løbende gennem designfaserne.



Figur 4-28 Samling af workflow i et modul

Samlet eksekveringstid		
Workflow:	Tid:	Enhed:
Workflow 1:	1:55	Minutter
Workflow 2:	0:06	Minutter
Workflow 3:	0:03	Minutter
Workflow 4:	0:04	Minutter
Workflow 5:	0:15	Minutter
Samlet:	2:23	Minutter

Figur 4-27 Samlede eksekveringstid for indeværende prototype

Figur 4-28 illustrerer hvorledes de enkelte workflows kan samles i et fælles modul. Ved brug af *runner*-værktøjet kan systemadministratoren lokalisere de enkelte workflows i stifinder, som herefter kan eksekveres i et og samme modul. Herved skal Alteryx kun håndtere et workflow. Figur 4-27 illustrerer den samlede eksekveringstid på 2 minutter og 23 sekunder for prototypen, hvilket i den nuværende arbejdsproces tager én arbejdsuge. Dette synliggør det enorme potentiale i fuldautomatisk validering af dataindholdet. Da der på nuværende tidspunkt er tale om en prototype og ikke et fuldendt system, er der flere begrænsninger, som bør adresseres. I nedenstående afsnit testes og diskuteres prototypens funktionalitet.

³⁵ Alteryx Server er en tillægspakke. I indeværende projekt er Alteryx Designer anvendt, og herfor kræver eksekveringen ét klik. MTH har Alteryx Server tilgængeligt.

³⁶ I indeværende projekt er Microsoft Power BI Desktop, herfor kræver det manuel import af kvalitetsvurderingsresultaterne. MTH har Microsoft Power BI Pro tilgængeligt

4.5 Diskussion

I afsnit 4.3 er det belyst, at det er teknisk muligt at lave en automatisk BIM-baseret modelkontrol, med potentiale for fuldautomatisering, som kan validere og monitorere BIM-modellernes dataindhold. Valideringsprocessen kontrollerer både for redundant, fejlbehæftet og manglende data, men verificerer tillige egenskabsværdierne op mod et givent informationsniveau og lovgivning. Gennem udviklingen af prototypen er der identificeret nogle begrænsninger for anvendelsen, hvilket diskuteres, testes og evalueres nærmere i dette afsnit.

De vigtigste identificerede problemstillinger fremgår af nedenstående oversigt:

4.5.1 Test af datalabel metoden

- Begrænsninger ved datalabel metoden testes (workflow 2).

4.5.2 Test af segmenteringsprocessen

- Resultaterne fra segmenteringsprocessen sammenholdes med BIM-modellens oprindelige dataindhold for indeværende casebygning (workflow 3).
- To øvrige BIM-modeller testes (workflow 3).

4.5.3 Diskussion af geometrisk kontrol og informationskontrol

- Geometriske regelkoder med fokus på *curtain walls* (workflow 3).
- Informations regelkoder med afsæt i elementers funktionsangivelse (workflow 3).
- Informations regelkoder vedrørende kontrol af indvendige elementer (workflow 3)

4.5.4 Løsningsevaluering

- Prototypen evalueres i samarbejde med systemadministratorer og systembrugere

Ovennævnte afsnit er struktureret jf. prototypens delfunktioner. De identificerede problematikker diskuteres i det følgende og hvis muligt vil fejlhandlinger adresseres.

4.5.1 Test af datalabel metoden

I afsnit 4.3.2 blev det beskrevet, hvorledes klassifikationskode parametre kunne samles under en ny datalabel kaldt "klassifikation". Denne metode skaber en mere fleksibel modelkontrol, da:

- Parametrene vil altid forekomme ved samme navn.
- Projektspecifikke opsætninger af regelsæt minimeres.
- Prototypen kan spore tilbage til egenskabsværdiens placering.

Det er konkluderet, at metoden fungerer på indeværende case, da modellen indeholder et eller flere af parametrene, hvor klassifikationskoder, brandklasse, lydklasse og u-værdi måtte forekomme. Helt konkret anvendte workflowet *dynamic select*-værktøjet, som kunne identificere alle tænkelige forekomster. Spørgsmålet er hvordan prototypen reagerer, hvis modellen ikke indeholder et af parametrene, eller slet ingen? Disse scenarier testes og diskuteres i det følgende.

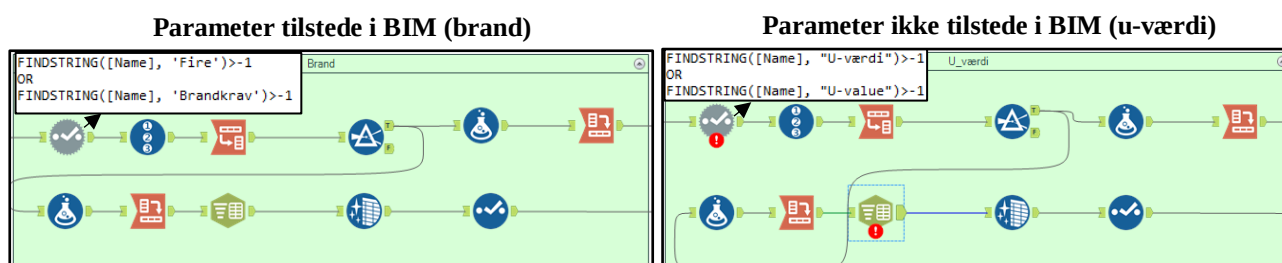
For at teste funktionaliteten er der modelleret en simpel BIM-model, der indeholder fire væg-objekter og et tag-objekt. Vægobjekterne indeholder kun Revit standardparametre, figur 4-29, som omfatter følgende:

- Klassifikationskode: Keynote
- Brandklasse: Fire Rating
- U-værdi: Intet parameter
- Lydklasse: Intet parameter

Identity Data	
Type Image	
Keynote	211001
Model	
Manufacturer	
Type Comments	
URL	
Description	
Assembly Description	
Assembly Code	
Type Mark	
Fire Rating	R60
Cost	

Figur 4-29 Revit standardparametre til wall-objekter

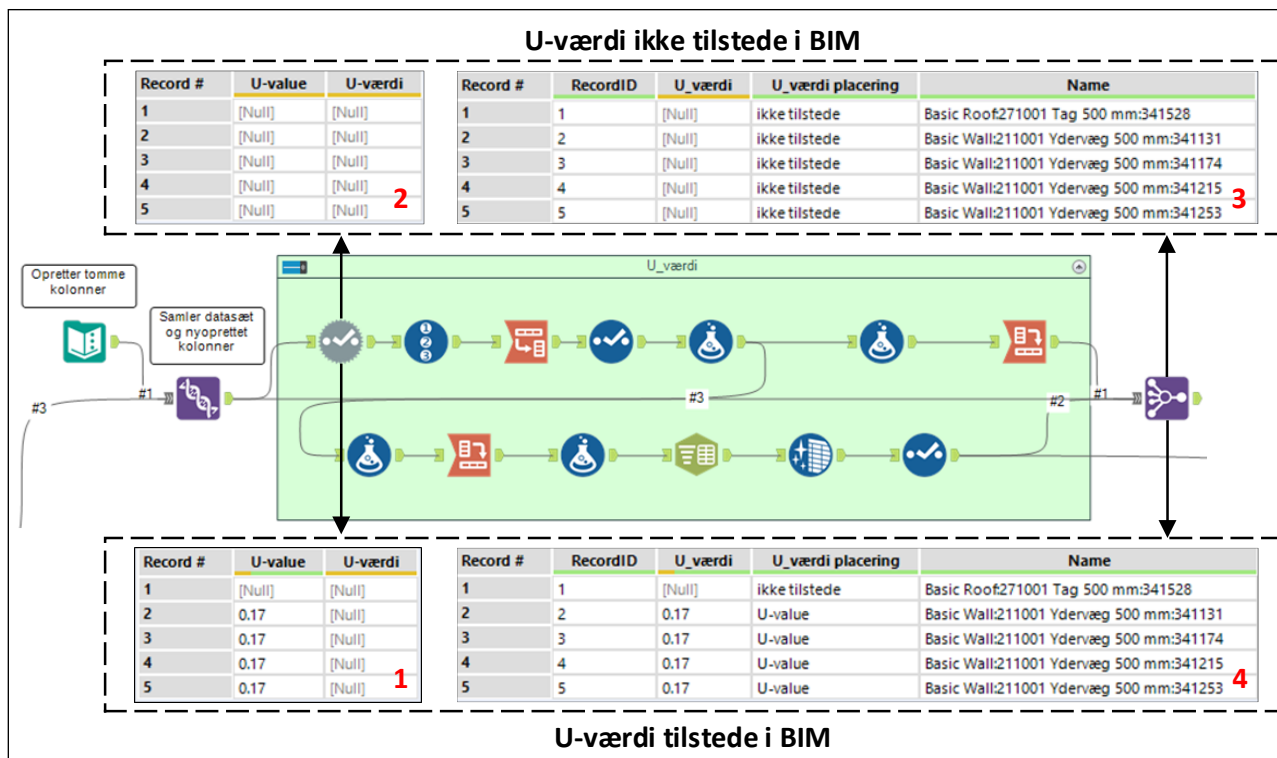
Her vil det testes, hvorledes prototypen agere, hvis datakilden kun indeholder et parameter, men tillige hvis datakilden ikke indeholder et parameter.



Figur 4-30 Test af parametres tilstedeværelse

Til venstre i figur 4-30 illustreres det, at prototypen godt kan håndtere, hvis der kun forekomme et parameter i modellen. Derimod opstår der fejl, hvis ingen af parameterene er tilstede i datakilden. De røde udråbstegn viser, at Alteryx registrer en fejlhandling. Fejlhandlingen opstår, da noden hverken kan registrere et parameter med navnet "U-værdi" eller "U-value", grundet dets manglende tilstedeværelse i BIM-modellen. Disse fejlhandlinger betyder, at prototypen ikke kan eksekvere indeværende og efterfølgende workflows, og herved kan det BIM-baseret modelkontrol ikke fuldføres.

Et forslag til en løsning på denne problemstilling er at oprette tomme kolonner, som *dynamic select*-noden vil søge efter/identificere. De tomme kolonner tilknyttes den oprindelige datakilde, som vist i figur 4-31. (1) Hvis kolonnen forefindes i datakilden mappes kolonnerne 1:1, og egenskabsværdierne forbliver uberørte. (2) Hvis kolonnen ikke eksisterer i datakilden, oprettes en tom kolonne, hvori alle egenskabsværdierne vil være "null". Ved at oprette disse kolonner vil parametrene til regelkoderne altid være tilstede i datakilden, hvilket "snyder" Alteryx til at tro, at parametrene eksisterer. Workflowet er modificeret i forhold til det oprindelige workflow, præsenteret i afsnit 4.3.2, således det indeholder et conditional statement, som kontrollerer om objektet indeholder en værdi til parameteret. (3) Hvis der ikke forekommer en egenskabsværdi til parameteret tildeles objektet "ikke tilstede" under "U-værdi placering"-kolonnen. Herved kan prototypen registrere, at objektet ikke indeholder et u-værdi-parameter. (4) Hvis der forekommer en værdi til parameteret registrerer prototypen dets placering. Tillige vil regelkoden registrere, hvis objektet ikke indeholder et parameter.



Figur 4-31 Proof of concept for indholdskontrol, hvor der oprettes tomme kolonner/parametre.

En kerneproblemstilling, som blev belyst i afsnit 3.2.1, var, at regelkoder er dybt afhængige af en række prædefinerede kriterier/parametre - hvis parametrene ikke er tilstede, kan regelkoderne ikke eksekveres. Ved at anvende ovennævnte forslag vil de prædefinerede kriterier altid være tilstede, og herved vil prototypens workflow altid kunne eksekveres.

Indholdskontrol regelkoder har til hensigt at undersøge om de prædefinerede kriterier/parametre er tilstede eller ej, hvilket netop er formålet ved ovennævnte løsning.

Det blev beskrevet i problemanalysen, at en kombination af *validerende* og *indholdskontrol* regelkoder, vil resultere i en mere fuldendt BIM-baseret modekontrol. Ved at implementere ovennævnte metode, kan prototypen indholdskontrollere BIM-modellens parameterindhold iht. det pågældende informationsniveau. Herudover kan workflow-opsætningen til dels anses som *guidende*, da denne identificerer og formidler om objektet indeholder en egenskabsværdi, og i så fald hvilket parameter, det er tilknyttet. En sådan funktionalitet sikrer en mere pålidelig og fuldendt BIM-baseret modelkontrol.

4.5.2 Test af segmenteringsprocessen

Da prototypens segmenteringsproces³⁷ har stor indflydelse på den efterfølgende modelkontrol testes denne funktion. Segmenteringsprocessen har, som beskrevet i afsnit 4.3.3, to formål:

1. at udforske om objektet anvendes til sit formål.
2. tildeling af nye objektkategorier.

Eksisterende softwareapplikationer til BMC eksekverer regelsættene på IFC-classes, hvilket kan give et forvrænget valideringsresultat (beskrevet i afsnit 3.6.1). Derfor er det forsøgt at afprøve en ny tilgang, hvor decision tree-metoden anvendes.

Testen består af to dele:

1. en sammenligning mellem de **oprindelige** og **korrekte kategorier**.
2. en sammenligning mellem de **nye kategorier**, identificeret gennem segmenteringsprocessen, og de **korrekte kategorier**.

De korrekte kategorier er fundet gennem en manuel gennemgang af objekterne i modellerne, hvor Alteryx er anvendt, som støtteværktøj.

Testen omfatter projektets casebygning samt to øvrige Multiflex Living-projekter.

Casebygning:

Testresultaterne for indeværende casebygning er vist i tabel 4-2 og tabel 4-3. Tabel 4-2 illustrerer, at der i forhold til de oprindelige kategorier er en væsentlig difference mellem Walls, Foundations, Windows og Doors. Dette belyser, at der er en række modelleringsfejl, hvor arkitekten har modelleret objekterne under en forkert kategori.

	Oprindelige	Korrekte	Differens
Walls	720	644	+ 76
Beams	0	0	0
Foundations	0	76	- 76
Columns	3	3	0
Floors	56	56	0
Roofs	4	4	0
Windows	139	155	+16
Doors	220	204	-16
Totale antal objekter	1142	1142	

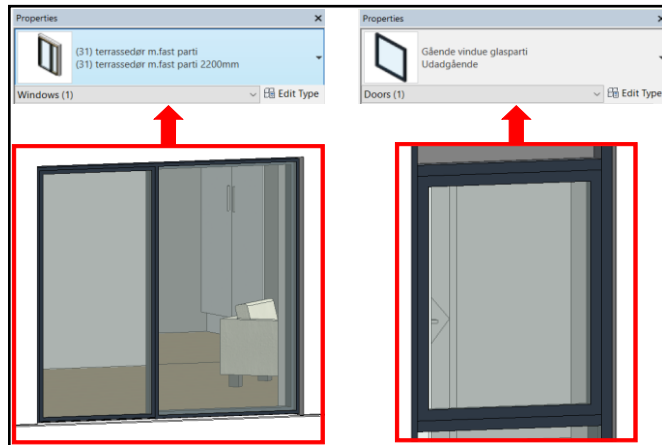
Tabel 4-2 Testresultater for "Oprindelige kategorier"

	Nye kategorier	Korrekte	Differens
Walls	540	644	-104
Beams	55	0	+55
Foundations	76	76	0
Columns	52	3	+49
Floors	56	56	0
Roofs	4	4	0
Windows	155	155	0
Doors	204	204	0
Totale antal objekter	1142	1142	

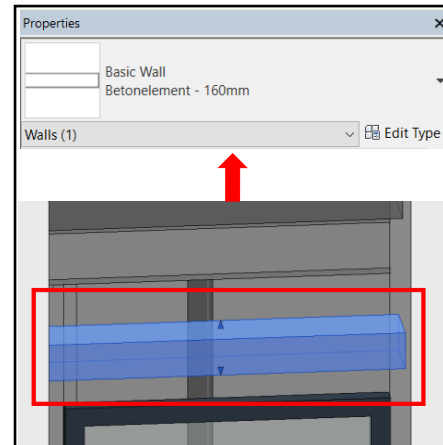
Tabel 4-3 Testresultater for "Nye kategorier" (segmenteringsprocessen)

³⁷ Workflow 3 step 3.

Disse modelleringsfejl bliver opfanget gennem segmenteringsprocessen, illustreret i tabel 4-3. Figur 4-32 viser to konkrete modelleringsfejl i indeværende BIM-model. Her ses det, at arkitekten har modelleret døre under kategorien *Windows* og vinduer under kategorien *Doors*. Ligeledes er alle fundamenter og sokler i projektet modelleret som *Walls*.



Figur 4-32 Modelleringsfejl i indeværende casebygning



Figur 4-33 Vægobjekt bag vinduesparti mellem to betonelementer

Testen viser tillige en række besynderlige iagttagelser. Blandt andet segmenteres 49 objekter under kategorien *Columns* og 55 objekter under kategorien *Beams* (tabel 4-3). Ved nærmere undersøgelse er 49 columns en direkte fejl-kategorisering, da disse er gipsvægge med dimensionerne 120x480x2680mm. De 55 bjælker kan der stilles spørgsmålstejn ved. Flere steder i modellen forekommer der betonelementer med dimensionerne 100x160x948 mm, som til forveksling ligner betonbjælker, illustreret i figur 4-33. Det har ikke været muligt at identificere objektets korrekte funktion eller kategori. Om objektet er modelleret forkert eller om systemet har fejlet, er dermed uklart. En stor fordel ved segmenteringsprocessen er dog, at sådanne tvivlsspørgsmål kan afklares ved eventuelle projekteringsmøder.

Test projekt 1:

Det skal bemærkes, at de to øvrige Multiflex Living modeller, som testes ikke er projekteret af samme arkitektfirma som case-bygningen.

Testresultaterne for "projekt 1" fremgår af tabel 4-4 og tabel 4-5. Tabellerne viser samme tendenser, som i den forrige test. Prototypen kategoriserer *Windows*, *Doors* og *Foundations* korrekt, hvorimod segmenteringsprocessen fejlagtigt kategoriserer flere vægobjekter under kategorierne *Columns* og *Beams*. De 36 bjælker er ikke betonelementer, men vinduesskørter, som fejlagtigt bliver forvekslet med en bjælke grundet deres dimensioner.

	Oprindelige	Korrekte	Differens
Walls	646	603	+ 43
Beams	0	0	0
Foundations	0	43	- 43
Columns	38	38	0
Floors	195	195	0
Roofs	5	5	0
Windows	136	112	+ 24
Doors	252	276	- 24
Totale antal objekter	1272	1272	

Tabel 4-4 Testresultater af testprojekt 1 for "Oprindelige kategorier"

	Nye kategorier	Korrekte	Differens
Walls	529	603	-74
Beams	36	0	+36
Foundations	43	43	0
Columns	76	38	+38
Floors	195	195	0
Roofs	5	5	0
Windows	112	112	0
Doors	276	276	0
Totale antal objekter	1272	1272	

Tabel 4-5 Testresultater af testprojekt 1 for "Nye kategorier" (segmenteringsprocessen)

Helt konkret viser tabel 4-4 en samlet difference for oprindelige kategorier på 67 objekter, mens tabel 4-5 har en difference for nye kategorier på 74 objekter. Det må heraf konkluderes, at segmenteringsprocessen ikke giver et bedre analyseresultat end ved de oprindelige objektkategorier. Grundet den større fejlmargen ved segmenteringsprocessen, ses det ikke fordelagtigt at anvende metoden på indeværende testprojekt.

Test projekt 2:

Test resultaterne for "projekt 2" er bedre, end på de forrige projekter. Prototypen fejler dog ved at kategorisere 9 vægobjekter, som *columns*. Fejlen opstår endnu engang ved, at vægobjekterne har dimensioner, som imødekommer regelkoden for søjler. Til trods for dette er segmenteringsprocessen i dette testprojekt langt mere valid end de oprindelige kategorier, tabel 4-6 og tabel 4-7.

	Oprindelige	Korrekte	Differens
Walls	544	515	+29
Beams	0	0	0
Foundations	0	29	-29
Columns	3	3	0
Floors	107	107	0
Roofs	5	5	0
Windows	167	147	+20
Doors	102	122	- 20
Totale antal objekter	928	928	

Tabel 4-6 Testresultater af testprojekt 2 for "Oprindelige kategorier"

	Nye kategorier	Korrekte	Differens
Walls	506	515	-9
Beams	0	0	0
Foundations	29	29	0
Columns	12	3	+9
Floors	107	107	0
Roofs	5	5	0
Windows	147	147	0
Doors	122	122	0
Totale antal objekter	928	928	

Tabel 4-7 Testresultater af testprojekt 2 for "Nye kategorier" (segmenteringsprocessen)



Helt konkret viser tabel 4-6 en samlet difference på 49 objekter for oprindelige kategorier, mens tabel 4-7 kun viser en difference på 9 objekter for nye kategorier. Det må konkluderes, at segmenteringsprocessen giver et mere retvisende analyseresultat end ved de oprindelige objektkategorier. Grundet den mindre fejlmargen må det konkluderes, at segmenteringsprocessen er fordelagtig ved indeværende testprojekt.

Resultat af de tre test

Overstående tre tests belyser, at segmenteringsmetoden ikke er fejlfri. Det kan dog diskuteres, hvorvidt de positive iagttagelser, segmenteringsprocessen medfører, delvis kan opveje fejlene. Særligt viser testresultaterne, at segmenteringsprocessen opdager modelleringsfejl vedrørende vinduer, døre og fundamenter. Derimod har prototypen sværere ved at skelne mellem mindre vægobjekter, søjler og bjælker.

Gennem udviklingen af regelkoder til segmenteringsprototypen og øvrige filtreringer af objekter, har særligt en problematik været et tilbagevendende diskussionsemne – hvilke data er troværdige? Hvis det antages, at alle informationer i BIM i princippet kan være fejlbehæftede, hvilke data er så mindst fejlbehæftede set i relation til den nutidige projekteringspraksis. Som beskrevet i indeværende afsnit, er regelkoderne til segmenteringsprocessen i høj grad baseret på geometriske dimensioner. Grunden til dette er, at projektering i CAD traditionelt set har omhandlet, at bygningselementer så visuelt korrekt ud (Eastman et al., 2009). Med denne praksis må det antages, at dimensioner der formgiver objekterne er mindst fejlbehæftede. Regelkoderne til segmenteringsprocessen kunne være suppleret af typekoder. Dog belyste analysen af de 10 kvalitetsvurderinger (tabel 1-1), at kun 57% af objekterne indeholdt en klassifikationskode, og var derved potentielt kilde for fejlfortolkning.

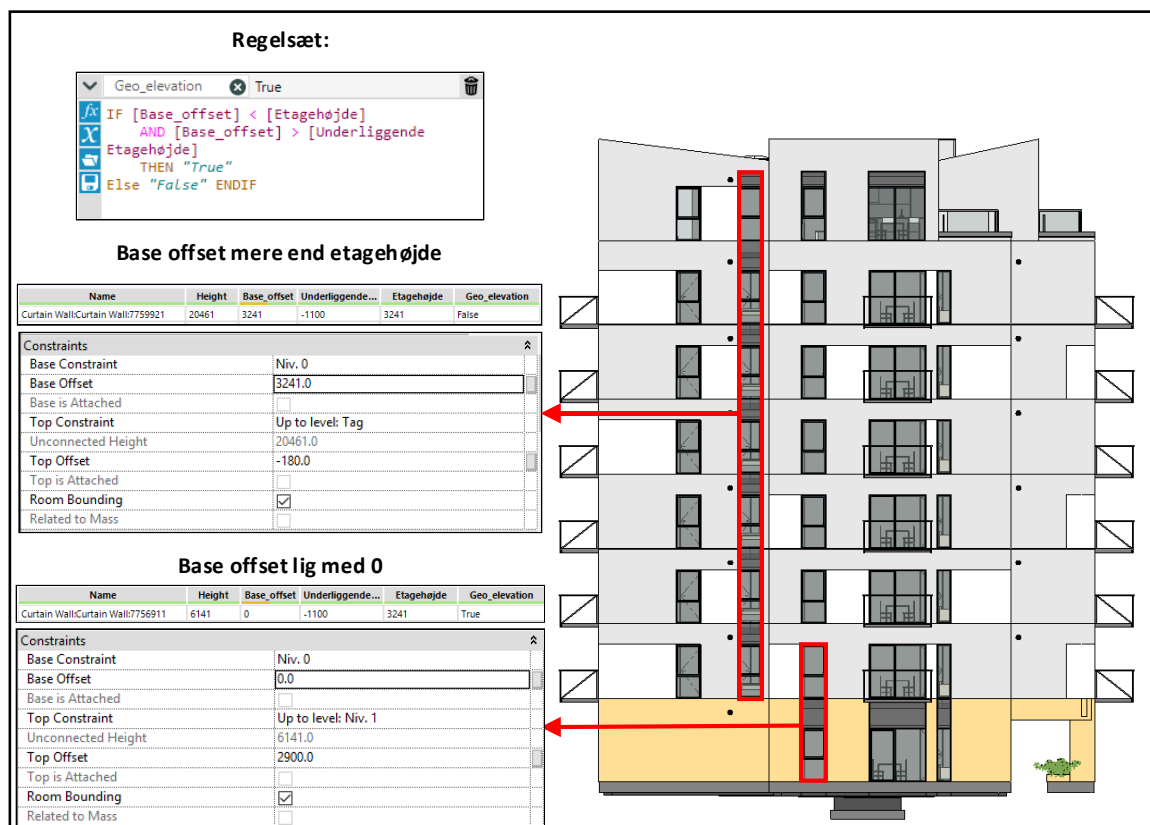
Gængse karakteristika for objektkategorien er implementeret i regelkoderne, det kan diskuteres hvorvidt metoden på nuværende tidspunkt er ideel. For at nedbringe fejlmarginen kræver det en viderebehandling af regelkoderne. Men potentialet må konkluderes at være stort.

4.5.3 Diskussion af geometrisk kontrol og informationskontrol

Under udviklingen af prototypen blev der identificeret en række problematikker vedrørende geometrisk kontrol og informationskontrol. I det følgende diskuteres først de geometriske regelkoder og herefter informationskontrollen med fokus på elementers funktionsangivelse og en særlig udfordring ved indvendige elementer.

Geometrisk kontrol

I forbindelse med udviklingen af regelkoder til geometrisk kontrol blev der identificeret en problematik vedrørende modelleringen af *curtain walls*.



Figur 4-34 Curtain walls modelleret på tværs af etager

I projektcasen forekommer der flere curtain walls, som er modelleret på tværs af elevations/etager, dette er illustreret på figur 4-34. Formålet med "Geo_elevation" regelkoden er at udforske om objekter er forbundet til den korrekte etage. Regelsættet er kodet således, at hvis base offset, er større eller mindre end dets tilknyttede elevation eller underliggende elevation, vil der forekomme et udfald. Figuren viser at regelkoden korrekt opfanger, at den ene curtain wall er forskudt med en etagehøjde. Hvorimod objektet vis base offset er lig med 0 godtages. Det kan diskuteres, hvorvidt regelsættet giver et retvisende kontrolresultat. Spørgsmålet er hvorvidt disse curtain walls i stedet burde opdeles i individuelle elementer per etage, eller om det kan godtages at denne type objekter modelleres på tværs af elevation. Problematikken er blev fremlagt og diskuteret med et par VDC-specialister hos MT Højgaard. Deres erfaringer var, at curtain walls oftest er modelleret på tværs af etager, hvorfor

det må antages, at *curtain walls* gerne må modelleres på tværs af elevation. Alternativet ville være, at opsætte en regelkode, som kontrollerer om *Top Constraint* er mere end overliggende elevation ift. *Base Constraint*.

Indeværende regelsæt er et eksempel på en generisk regelkode, hvor konsekvensen af et conditional statement bygger på værdien fra et andet parameter, hvilket ikke er ladsiggørigt i Solibri Model Checker. Regelkoden vil altid kunne eksekveres, såfremt at *level's* navngives med "Niv" og et fortløbende etagenummer, hvilket vil minimere projektspecifikke ændringer. De fire geometriske regelsæt er af så generel karakter, at de kan implementeres på alle fremtidige projekter, hvor kun få modificeringer af BIM-modellen er påkrævet. Så længe projektet anvender BIM7AA typekoder og *level's* navngives jf. ovennævnte, vil de geometriske regelkoder altid kunne eksekveres.

Informationskontrol: elementers funktionsangivelse

Elementers funktionsangivelse har stor indvirkning på projektets prototype, når den skal validere om egenskabsværdierne er korrekte. Helt konkret omhandler dette u-værdi, lydklasse og brandklasse, idet regelkoderne baseres på funktionsangivelser. Hvis elementernes funktion angives forkert, vil det give et misvisende resultat, som i sidste ende kan påvirke kvalitetsvurderingens validitet. Da prototypens regelkoder er baseret på elementernes funktionsangivelse for udsagnet (condition), har disse stor indvirkning på den efterfølgende konsekvens (statement).

Lydklasse	Brandklasse	U-værdi
<pre>IF [Function] = "Exterior" THEN [Lydegenskab] <= "55" ELSEIF [Function] = "Interior" THEN "Intet krav" Else "False" ENDIF</pre>	<pre>IF [Load_bearing] = 0 THEN "Intet krav" ELSEIF [Øverste etagedæk] <= 12000 AND [Load_bearing] = 1 THEN ([Brandegenskab] = "R60" OR [Brandegenskab] = "REI60") ELSEIF [Øverste etagedæk] > 12001 AND [Øverste etagedæk] < 22000 AND [Load_bearing] = 1 THEN ([Brandegenskab] = "R120" OR [Brandegenskab] = "REI120") ELSE "False" ENDIF</pre>	<pre>IF [Function] = "Exterior" THEN [U_værdi] < "0.3" ELSEIF [Function] = "Interior" THEN "Intet krav" Else "False" ENDIF</pre>
: Condition (IF / ELSEIF) : Statement (THEN)		

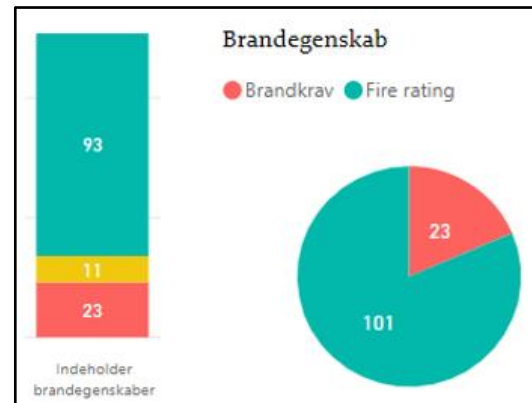
Figur 4-35 Conditional statements for udvendige vægge (U-værdi, brand og lyd)

Figur 4-35 illustrer de tre regelsæt, hvor udsagnene og konsekvenserne er farvelagt. Figuren viser, at udsagnene i høj grad er påvirket af, at elementerne er tildelt korrekte funktioner. Hvis elementet er angivet med *Function*-angivelsen *Interior* eller *Load Bearing*-angivelsen 0 (unchecked)³⁸, så vil konsekvens af regelkoderne i alle tre tilfælde være "intet krav".

En granskning af valideringsresultaterne viser, at arkitekten af indeværende projektcase har tildelt elementerne med korrekt *function*-angivelser, og derved er lydklasse og u-værdi tjekket korrekt. Derimod er der observeret få fejl i forbindelse med *Load Bearing*-angivelser. Fejlene blev fundet gennem granskning af dashboards.

³⁸ Load Bearing tildeles gennem en afkrydsningsboks, et kryds/tjek i denne resultater i 1 ellers 0.

Søjlediagrammet viser, om brandmodstandsevnen overholder de lovgivningsmæssige krav jf. ”Eksempelsamling om brandsikring af bygger 2012”, mens cirkeldiagrammet illustrer egenskabsværdiernes placering. Figur 4-36 illustrer en uoverensstemmelse mellem de to, da der forefindes 124 egenskabsværdier, men kun 116 brandegenskaber³⁹ plus de 11 ”intet krav” i BIM-modellen. Gennem granskning af BIM-modellen, er fejlkilden identificeret til 8 betonelementer, der omkredser elevatorskakten over tagkonstruktionen og i terræn. Elementerne indeholder en brandegenskabsværdi og derfor medregnet de 124 egenskabsværdier. Men da funktionsangivelsen er angivet som non-bearing er udfaldet af regelkoden ”intet krav” og herved fejlvurderes de 8 betonelementer.



Figur 4-36 Uoverensstemmelse mellem antallet af parametre med brandegenskab og antallet af kontrollerede objekter

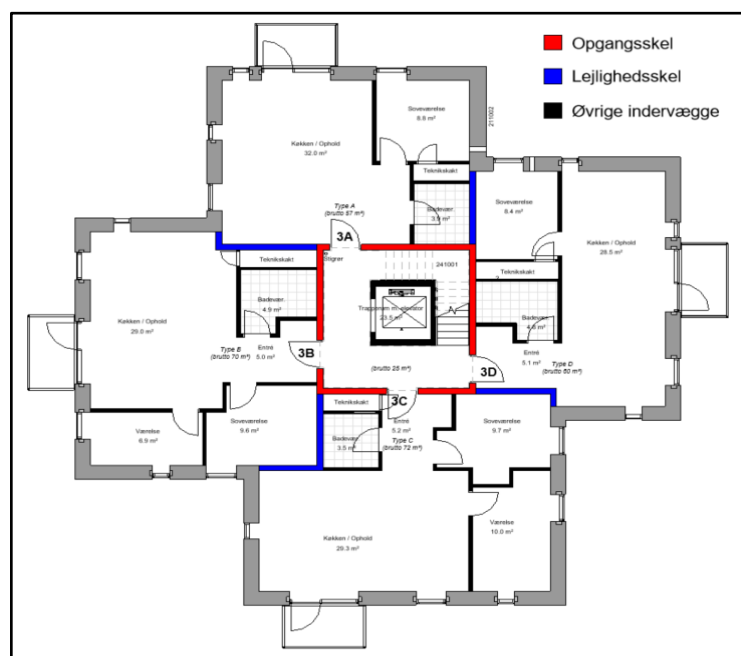
Det negative ved ovennævnte problemstilling er, at prototypens valideringsresultater kan være fejlbehæftet, og derved være misvisende. Det positive er, at fejl i funktionsangivelser kan opdages og adresseres, hvis brugeren forholder sig kritisk til valideringsresultaterne. Lignende problemstillinger kan gøre sig gældende for etageadskillelser, terrændæk og indvendige vægge.

Informationskontrol: indvendige elementer

Gennem udvikling af prototypen er der løbende identificeret yderligere problemstillinger, heriblandt begrænsninger ved kontrol af brand- og lydklasse for bygningens indvendige vægge og døre og udvendige vinduer. Helt konkret har problemstillingerne været:

- Lydklasse på indvendige døre og vægge.
- Brandklasse på døre (generelt).
- Brandklasse på vinduer.
- Brandklasse på ikke bærende indvendige vægge.

Figur 4-37 illustrerer en plantegning af case-bygningen. Plantegningen viser et udsnit af de forskellige indvendige vægge, som eksisterer i projektet. Krav-



Figur 4-37 Plantegning af case-bygning (2. sal)

³⁹ Indeholder korrekt brandegenskab: 93 true + 23 false = 116



specifikationer til lyd og brand afhænger af om væggene og dørene er placeret ud mod opgangsskel, lejlighedsskel eller internt i lejlighederne. For at kontrollere disse kravspecifikationer kræver det, at prototypen kan skelne mellem væggenes placeringer, hvilket ikke er muligt. Tillige er der begrænsninger i at identificere vinduernes placering. Hvis der er fare for vinkelsmitte mellem to brandsektioner eller brandceller, stilles der krav til, at vinduerne opnår samme brandmodstandsevne, som den væg de er placeret i. Begrænsningen opstår når IFC-bygningsmodellen skal genereres til Excel. Ved oversættelsen mister objekterne deres indbyrdes relationer, hvilket eliminerer muligheden for at lokalisere objekternes reelle placering. IFC-datamodellens *objectified relationship* er ikke direkte aflæselig i Excel-dokumentet, hvilket tillige gør sig gældende for *spatial* strukturen.

Problemstillingen med at identificere elementernes placering, kunne være imødekommet, hvis *IfcRelSpaceBoundary* (*space boundary*) var aflæselig. Denne relation definerer elementernes fysiske afgrænsning for et rum/space og dens relationer til de omgivende elementer. Da et *space* per definition altid er omgivet af elementer jf. *spatial* strukturen, vil *IfcRelSpaceBoundary* entiteten kunne have defineret om vægobjekterne er placeret i lejlighedsskel, opgangsskel eller internt i lejligheden. I afsnit 3.7.3 blev NIST IFC File Analyzer forkastet som mulig datakilde, da hyperlinkene i dokumentet mistede sin funktion ved import til Alteryx. Det positive ved IFC File Analyzer er, at *objectified relationships* og *spatial* strukturen er aflæselige i Excel-dokumentet. Problemstillingen er, at dataklargøringsprocessen i Alteryx vil være mere omfattende. Tillige ville det BIM-baserede modelkontrol ikke kunne fuldautomatiseres ved brug af IFC File Analyzer. Derfor bør fordele og ulemper overvejes.

En anden mulighed er, at tillægge alle indvendige vægge mod opgangsskel eller lejlighedsskel og vinduer et egenskabsparameter, som fortæller dets funktion og placering. Denne løsning sætter dog yderligere krav til den projekterende rådgiver, som i forvejen har rigeligt af kravspecifikationer, der skal imødekommes.

Den optimale løsning ville være at anvende en anden datakilde end Excel. Hvis der kan skabes direkte relation mellem IFC-bygningsmodellen og Alteryx, kan data tilgås mere direkte. Da Alteryx understøtter et større antal databaser og cloudservere, kunne en mulighed være at eksportere IFC-datamodellen til en database, hvorfra Alteryx kan tilgå datakilden – dette vil blive belyst i nedenstående afsnit.

4.5.4 Løsningsevaluering

Prototypen er evalueret i samarbejde med en brugergruppe hos MTH, bestående af to VDC-specialister med erfaring i Alteryx samt projekterings og IKT-ledelse. Brugergruppen kan derved både anses, som systemadministratorer og systembrugere. Evalueringen bestod af en teknisk præsentation af prototypen, samt en efterfølgende dialog af prototypens tekniske kunnen og fremtidsmuligheder.

Ændringshåndtering

Først og fremmest udtrykte brugerne begejstring for den samlede løsning. Særligt på grund af potentialet ved fuldautomatisk eksekvering.

Systemadministratorerne udtrykte dog bekymring for prototypens omfang, da der for fremtiden kan forekomme projektspecifikke ændringer, som bør indarbejdes. Helt konkret efterspurgte de markeringer i workflows, der hvor ændringer skal indarbejdes - alternativt en manual, der beskriver enkelte delfunktioner. I denne sammenhæng foreslog systemadministratorerne, at projektspecifikke egenskabsværdier og kravspecifikationer til de enkelte regelkoder kan indtastes i en Excel-skabelon og importeres til Alteryx. Rent teknisk er dette muligt, men det kan diskuteres, hvorvidt en sådan løsning er funktionel, da den principielt ikke vil være anderledes end hard-coded regelskabeloner i de eksisterende BMC-systemer. I afsnit 3.2.1 blev det belyst, at regelfortolkning er et komplekst problemfelt, hvor lovgivninger og reguleringer kan inddeles i 3 kategorier: for alle bygninger, den specifikke bygningstype og det specifikke byggeprojekt. Multiflex Living konceptbyggerier vil i store træk skulle imødekomme samme lovgivninger og reguleringer, derfor vil få ændringer skulle implementeres. Visionen for projektet er at validere dataindholdet i BIM for Multiflex Living konceptbyggerier, hvilket er adresseret.

Da fremtidsaspektet for løsningsforslaget er meget større end Multiflex Living, bør projektspecifikke ændringer tænkes ind. Spørgsmålet er derfor om regelskabeloner kan undgås, da skabeloner muliggør hurtige ændringshåndteringer. Forskellen mellem indeværende prototype og eksisterende BMC-systemer er, at systemadministratoren med prototypen selv kan kode regelsæt for datafortolkning og direkte aflæse konsekvensen. Det skal fremhæves, at prototypen er uafhængig af de prædefinerede kriterier, hvilke minimere behovet for projektspecifikke ændringer.

Segmenteringsprocessen

Testresultaterne af segmenteringsprocessen blev introduceret, og fordele og ulemper blev belyst. Brugere var begejstrede for opdagelserne ved indeværende case-bygning, samt fremtidsperspektiverne ved decision tree-metoden. Dog betvivlede de anvendelsen af de konkrete regelkoder til fremtidige projekter, grundet de projektspecifikke konfigurationer. En videre bearbejdelse af segmenteringsprocessen, bør derfor finde sted.

Datakilden

Begrænsningerne ved datakilden, beskrevet ovenstående afsnit, blev også fremlagt. I denne sammen-



hæng fremviste MTH medarbejderne en ny tilgang, der for fremtiden kan imødekomme problemstillingerne ved de manglende objektrelationer. Da Alteryx understøtter et større spektrum af datakilder, heriblandt databaser og cloudservere, har medarbejderne formået at skabe en direkte kobling til BIM-cloudserveren, Autodesk BIM 360 Forge. Grundet Forge's åbne API, kan Alteryx tilgå informationerne mere aktivt i datakilden. Begrænsningen er dog, at løsningen kun er kompatibel med Revit-filer, og ikke IFC-bygningsmodeller. Linket giver til gengæld mulighed for at tilgå objektdata mere dybdegående. Eksempelvis kan Alteryx tilgå en vægs geometriske og ikke-geometriske egenskaber, men tillige udforske hvilke spaces væggen omkredser. En sådan løsning ville kunne imødekomme problemstillingerne vedrørende brand- og lydklasse for bygningens indvendige vægge og døre og udvendige vinduer. Ulempen er, at modelkontrollen begrænses til et proprietært udvekslingsformat, fordelen er at modelkontrollen baseres på et bedre datagrundlag. Autodesk Forge understøtter tillige import af IFC-bygningsmodeller. Muligheden for at basere løsningen på IFC-bygningsmodeller blev diskuteret, og medarbejderne så ikke umiddelbart nogen begrænsning i en sådan løsning. Ulempen ved Autodesk Forge er, at IFC-datamodellen skal importeres og klargøres, hvilket eliminerer muligheden for en fuldautomatisk løsning. Umiddelbart ses det mere fordelagtigt, at gå på kompromis med fuldautomatisering til fordel for et bedre datagrundlag.

Erfaringsdatabase

Flere fremtidsaspekter blev diskuteret, heriblandt lagring af valideringsresultaterne, som ved indeværende løsning lagres i et Excel-dokument. En ideel løsning for fremtiden vil være en database, hvori erfaringsdata fra tidligere projekter kan lagres. Her bør der udvikles en erfaringsdatabase, der både lagrer IFC-datamodellens egenskaber, men tillige valideringsresultater fra tidligere modelkontroller. Resultater kan på sigt, skabe erfaringer til fremtidige løsninger. Herved åbnes der op for muligheden i at skabe guidende og tilpassende regelkoder, hvorved computeren selv lærer af data og herved kan opsætte best practice rules, som beskrevet i afsnit 3.2.2.

Resultatformidling

I forhold til resultatformidlingen i Power BI var brugerne tilfredse med opsætningen. Medarbejderne mente at dashboards gav et mere informativt indblik end forventet, og udtrykte tillige begejstring ved monitoreringsfunktionen. Særligt muligheden for udforskning af flere parametre af samme anvendelse, ses som en ideel løsning til at sikre et mere konsistent projektmateriale for fremtiden. Løsningen ved at oprette nye datalabels betyder, at modelkontrollen gør sig uafhængig af prædefinerede kriterier, som var begrænsningen ved validerende og indholdskontrol regelkoder. Da MT Højgaards standard IKT-aftale stiller krav til parameternavngivningen iht. IFC-datamodellens standard Pset's, vil brugerdefinerede parametre kunne elimineres, hvilket stimulerer openBIM-tankegangen. At kunne stole på IFC-udvekslingsformatet er første skridt mod at fremme produktiviteten i branchen. Afhængigt af den digitale målsætning for projektet kan der forekomme øgede eller lempede kravspecifikationer til de pågældende informationsniveauer, hvilket bør indtænkes i den fremtidige løsning. Prototypens tekniske løsning åbner op for, at modellernes dataindhold kan valideres, og holdes op

mod det aftalte i IKT-aftalen på ugentlig eller månedlig basis. Brugere ser en stor fordel i at kunne kontrollere og kvalitetsvurdere modellerne flere gange i løbet af projekteringen, således at fejlbehæftet data kan adresseres løbende og ikke kun ved udgangen af hovedprojektet. Dette istandsætter projekteringsledelsen til at agere mere proaktivt, og samtidigt operationaliseres IKT-aftalens indhold.

Kriterier	Krav	Kommentar	Opfyldelse
Datakilde	Prototypen skal gerne håndtere data fra forskellige modelleringsapplikationer	Datakilden er en IFC-bygningsmodel, men regelkoder anvender i enkelte tilfælde Revit egenskaber.	✓/✗
Eksekvering	Gerne fuldautomatisk	Opfyldt: Prototypen kan eksekveres fuldautomatisk ved anvendelse af Alteryx Server og Power BI Pro. ⁴⁰	✓
Formål	At validere og kvalitetssikre BIM-modellers dataindhold op mod det aftalte i IKT-aftalen.	Opfyldt: Indeværende prototype kontrollerer modellen op mod egenskabsdata i leverancespecifikationer.	✓
Monitorering	Systemet skal kunne gemme tidligere analyseresultater, og monitorere modellernes udvikling løbende gennem projekteringen, så IKT- og projekteringsledelsen kan følge modellernes udvikling.	Opfyldt: Indeværende prototype kan lagre data på tværs af versioner, så modellernes udvikling kan monitoreres jf. informationsniveau 5. Dog bør udviklingen af en database til erfaringsopsamling, for fremtiden overvejes.	✓
Resultatformidling	Skal kunne videreformidles til systembrugerne på en let forståelig måde (gerne gennem digitale dashboards).	Opfyldt: Dashboards giver en letforståelig resultatformidling, hvor eventuelt fejlbehæftede eller manglende data kan identificeres.	✓
Større fleksibilitet i regelsæt	Systemet skal være af fleksibel karakter, hvor flere parametre af samme anvendelse kan indlejres i et og samme regelsæt.	Opfyldt: Prototypen kan håndtere flere parametre ved brug af datalabels, herved er regelkontrollen uafhængig af prædefinerede kriterier, derudover kan prototypen håndtere generiske regelkoder.	✓
Ændringshåndtering	Regelsættene skal gerne være af generel karakter, således at projektspecifikke ændringer minimeres.	Prototypen kan håndtere flere kontekstuelle forhold inden for en afgrænset case-bygning, men projektspecifikke ændringshåndteringer bør videreudvikles.	✓/✗
Rammer for valideringstjekket	Udgangspunkt i MTH's 6 simple modelleringsregler. Detaljeringsgrad og informationsindhold iht. IKT-aftale og leverancespecifikationer.	Opfyldt: De 6 modelleringsregler er kontrolleret, og regelkoder for geometrisk kontrol anses som gængse. Informations- og klassifikationskontrol kan variere afhængigt af de digitale ambitioner for projektet.	✓

Tabel 4-8 – Opfølgning på MT Højgaards kravspecifikationer

⁴⁰ I indeværende case anvendes Alteryx Designer og Power BI Desktop. Herfor kræver Alteryx et klik for eksekvering og analyseresultaterne skal importeres til Power BI



Indeværende prototype har fremvist en mere fleksibel tilgang til validering og kvalitetskontrol af BIM dataindholdet. I afsnit 4.4 er en ny sekvensmodel præsenteret på baggrund af projektets udarbejdede løsningsforslag, som fremviste tydelige tidsmæssige besparelser ift. de eksisterende arbejdsprocesser. I afsnit 4.5 blev en række problemstillinger identificeret og diskuteret, heriblandt datakilden, segmenteringsprocessen og datalabel metoden. Nogle problematikker blev adresseret, andre må være emne for fremtidig udvikling. Det blev tillige belyst, at valideringsresultaterne kan indeholde fejl på grund af funktionsangivelser, og derfor bør systembrugeren og systemadministratoren verificere valideringsresultaterne.

Hensigten ved indeværende prototype er et kvalitetsvurderingsværktøj, og skal ikke anses, som en erstatning for Solibri Model Checker, men et supplement. Løsningen istandsætter projektorganisationen til løbende at identificere redundant, manglende eller fejlbehæftet data, hvilket kan skabe mere konsistens i informationsindholdet. En problematik er at identificere fejlbehæftet og inkonsistent data, en anden er at udbedre det.

Ved interviews med Mads Carlsen fra Årstiderne Arkitekter og Mathias Rasmussen fra C.F. Møller, blev der udtrykt bekymring for, hvorledes valideringsresultaterne kunne formidles til rådgiverne. Et effektivt kommunikationsformat er BCF (BIM Collaboration Format), hvor eventuelle udfald og kommentarer kan linkes direkte til de enkelte objekter og visualiseres i modelleringsapplikationen ved brug af unikke ifcGUID. Da datakilden indeholder ifcGUID bør BCF undersøges nærmere, alternativet er dashboards, Excel eller PDF. Formidlingsproblematikken bør overvejes, hvis løsningen skal have bedst mulige forudsætninger for implementering, men er ikke yderligere berørt i indeværende projekt.

5 Konklusion

I dette afsnit konkluderes der på rapportens problemformulering, som er udarbejdet på baggrund af rapportens problemstilling. Problemformuleringen er beskrevet i afsnit 1.3 og lyder:

Hvordan kan dataindholdet i BIM valideres automatisk og løbende gennem designprocessen, således at datakvaliteten højnes?

Tilhørende problemformuleringen er tre underspørgsmål, som gennemgås i det følgende, og på baggrund heraf konkluderes på hovedproblemformuleringen.

Hvilke metoder findes der til validering af dataindholdet i BIM?

BIM-baserede modelkontrolsystemer (BMC-systemer) har til formål at udforske og kvalitetssikre dataindholdet i BIM. Analysen af de metoder og teorier, som BMC-systemer bygger på, viste at processerne i BMC omfatter fire faser: regelfortolkning, modelklargøring, regeleksekvering og resultatrapportering. Det blev i denne sammenhæng klarlagt, at modelkontrol er et komplekst område med flere koncepter af regelkoder. Her blev det konkluderet, at metoder til validerende og indholdskontrol er hensigtsmæssige at anvende, da koderne både validerer modellens data, og samtidigt udforsker om data er tilgængelige.

Koncepter af regelkoder er baseret på prædefinerede kriterier, hvilket betyder, at koderne ikke kan eksekveres, hvis kriterierne/parametrene ikke er indeholdt i BIM. Derfor er IKT-aftalen med dertilhørende bygningsdelsspecifikationer analyseret, da disse dikterer hvilke egenskaber/kriterier, modellen bør indeholde, og dermed hvilke egenskaber prototypen skal kvalitetskontrollere. Da regelkoderne tillige baseres på geometriens dimensioner, er branchens modenhedsniveau analyseret. Branchens modenhedsniveau blev vurderet til level 2, hvilket betyder, at fagdisciplinerne modellerer og udveksler den komplette bygningsdelskonstruktion, hvorfor dette er tænkt ind i prototypens regelkoder.

Udveksling af modeldata kan ske ved brug af IFC-udvekslingsformatet, der både sikrer fælles datastruktur og skaber interoperabilitet på tværs af modelleringsapplikationer. Derfor anvendes dette filformat i prototypen. Gennem interviews blev det identificeret, at der kan forekomme flere parametre af samme anvendelse uden for IFC-standarden. Af denne grund anvendes MVD'en *Coordination View* til modelklargøringen, og derfor forekommer der også Revit-egenskaber i datakilden.

Hvilke teknologiske muligheder er der for automatisk at validere dataindholdet i BIM?

Eksisterende software kan kategoriseres i to typer: black-box der anvender hard-coded regelsæt skabeloner, eller white-box der kræver kompetencer inden for programmering. Det mest anvendte værktøj, som også anvendes af MT Højgaard (MTH), er Solibri Model Checker (SMC). Analysen af SMC fremviser flere vigtige begrænsninger, herunder at regelsættene ikke kan håndtere flere parametre,

samt bygger på faste værdier, og at flere kontekstuelle forhold ikke kan indlejres i samme regelsætskabeloner. Derfor er det konkluderet, at regelsæt i SMC kræver projektspecifikke opsætninger eller er af lempelig karakter, hvilket i begge tilfælde kræver manuel gennemgang af hvert enkelt regelsæt, som er en ressourcekrævende proces. Det vurderes derfor nødvendigt at udvikle et eget system.

VPL-softwaren Alteryx vurderes at være et ideelt udgangspunkt grundet sin white-box-funktionalitet. Programmet giver mulighed for at tillægge noder med validerende og indholdsregelkoder, samt observerer konsekvensen af koderne uden at udføre reel tekstbaseret kodning. Samtidigt løser Alteryx mange af de identificerede begrænsninger i eksisterende softwareapplikationer. Resultatet af analysen er derfor, at Alteryx anvendes til udarbejdelse af prototypen, grundet dets fleksibilitet samt mulighed for at implementere validerende- og indholdsregelkoder. Samtidig ses et potentiale for fuldautomatisering af eksekvering, hvilket også imødekommer ønskerne til det fremtidige system.

Hvorledes er det muligt at kommunikere resultaterne på en letforståelig måde?

Resultatrapportering er en væsentlig del af et BMC-system. Data visualisering er en hensigtsmæssig metode til resultatrapportering, da menneskets forståelse i høj grad er visuel. Der findes forskellige værktøjer til datavisualisering, hvor valget afhænger af dets formål. Gennem undersøgelsen af værktøjer kan det konkluderes, at anvendelsen af softwaren Microsoft Power BI er hensigtsmæssigt for indeværende projekt. Programmet tilbyder let og enkel generering af visualiseringer ved brug af standarddiagrammer. Microsoft Power BI er lettilgængelig, da det ikke kræver kompetencer inden for programmering. Desuden kan valideringsresultaterne overføres direkte fra Alteryx. Systembrugernes informationsbehov, som blev identificeret gennem en workshop, er forsøgt indarbejdet i en række dashboards ved hjælp af Microsoft Power BI.

Besvarelsene af de tre underspørgsmål ligger til grund for løsningsforslaget i problembearbejdningen. Løsningsforslaget, som er udvikling af en prototype, tager udgangspunkt i casen Multiflex Living udleveret af MTH. Valideringen tager afsæt i de seks vigtigste af MTH's tolv modelleringsdiscipliner, som blev identificeret ved en workshop, og egenskabsværdierne kontrolleret iht. DiKon og BIM7AA's fælles bygningsdelsspecifikationer, med tillæg fra DiKon's supplement. Løsningen er afgrænset til at kunne håndtere arkitektmodeller, samt et begrænset antal bygningsdele og vurderingskriterier.

Projektets måltræ, som er vist i figur 5-1 viser, at det er lykkedes at automatisk validere dataindholdet i en BIM-model. Ved brug af Alteryx Designer og Microsoft Power BI kan der ved få klik udføres en BIM-baseret modelkontrol. Med tillægspakker (Alteryx Server og Power BI Pro) kan processen eksekveres fuldautomatisk. Da Alteryx ikke understøtter IFC-filformatet er simpleBIM anvendt til at eksportere IFC til Excel, hvilket ved brug af templates kan gøres automatisk – disse kan eksekveres i Alteryx gennem batchfiler.

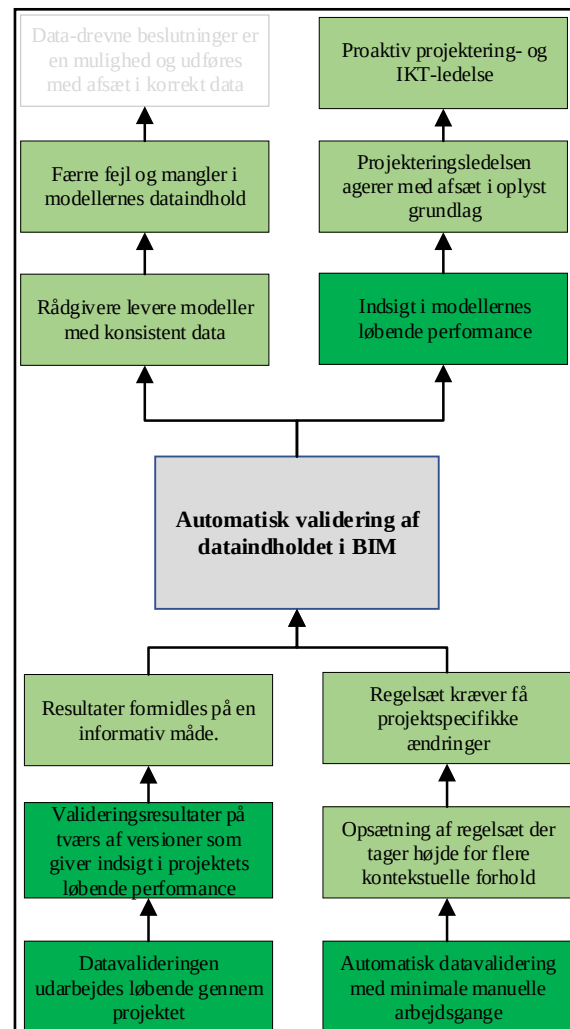
Konkret kan prototypens samlede workflows eksekveres på 2 minutter og 23 sekunder, hvilket indbefatter eksporten til Excel, datarensning, den BIM-baserede kontrol samt visualisering af valideringsresultaterne i interaktive dashboards. Dette synliggør en tydelig tidsmæssig optimering, da de tidligere arbejdsprocesser med modelvalidering i gennemsnit tog én arbejdsuge.

Samtidigt løser prototypen flere af begrænsningerne identificeret ved de eksisterende BMC-systemer. Først og fremmest kan prototypen håndtere flere parametre med samme anvendelse i ét og samme regelsæt. Derudover lykkedes det at opsætte generiske regelkoder, der ikke bygger på faste værdier, samt regelkoder, der tager højde for flere kontekstuelle forhold.

Prototypen kan gøres uafhængig af de prædefinerede kriterier/parametre ved brug af datalabels, så den BIM-baserede modelkontrol altid eksekveres, hvilket skaber en mere fleksibel løsning. Derved kan prototypen både validere og indholdskontrollere dataindholdet i BIM-modellerne. Alle disse tiltag betyder, at behovet for projektspecifikke ændringer minimeres – eller total elimineres inden for de afgrænsede forudsætninger.

Valideringsresultaterne visualiseres i 18 interaktive dashboards af forskellig detaljeringsgrad, hvor modellens aktuelle status, samt udfaldet af regelkoderne til hvert enkelt objekt kan udforskes. Da prototypen kan lagre valideringsresultater på tværs af versioner, er det muligt at monitorere modellernes udvikling, hvilket skaber indsigt i projektets løbende performance. Herved kan projekteringsledelsen agere proaktivt på et mere oplyst grundlag.

Alt i alt kan det konkluderes, at projektets tekniske løsningsforslag formår at gennemføre automatisk validering af dataindholdet i BIM og reducere manuelle arbejdsgange. Løsningsforslaget kan på sigt højne datakvaliteten i BIM, da fejlbehæftet, manglende eller redundant data løbende kan identificeres og adresseres gennem designprocessen. Det forventes at et pålideligt og konsistent datagrundlag vil stimulere anvendelsen af digitale værktøjer og derved datadrevne beslutninger til glæde for alle projektets aktører. Idet der blot er tale om en prototype, er der naturligvis behov for videreudvikling af løsningen.



Figur 5-1 Måltræ for projektet med markeringer af opfyldelsesgraden for de relevante mål. De mørkegrønne markeringer er mål, som vurderes til at være tilstrækkeligt opfyldt, og de lysegrønne markeringer er mål, der i nogen grad er opfyldt. De hvide markeringer er ikke bearbejdet i projektet.

6 Perspektivering

Et af perspektiverne i prototypens anvendte softwareapplikationer er, at Alteryx Designer og Microsoft Power BI har et bredere anvendelsespotentiale end validering og monitorering af dataindholdet i BIM. Helt konkret perspektiveres til, hvorledes softwareapplikationerne istandsætter projektorganisationen til at monitorere ændringer i mængder og materialer ved brug af BIM-modellerne.

Yderligere fremtids- og optimeringsaspekter, er at Alteryx på sigt kan udforme tilpassende og guidende regelkoder ved brug af *data analytics* teknikker.

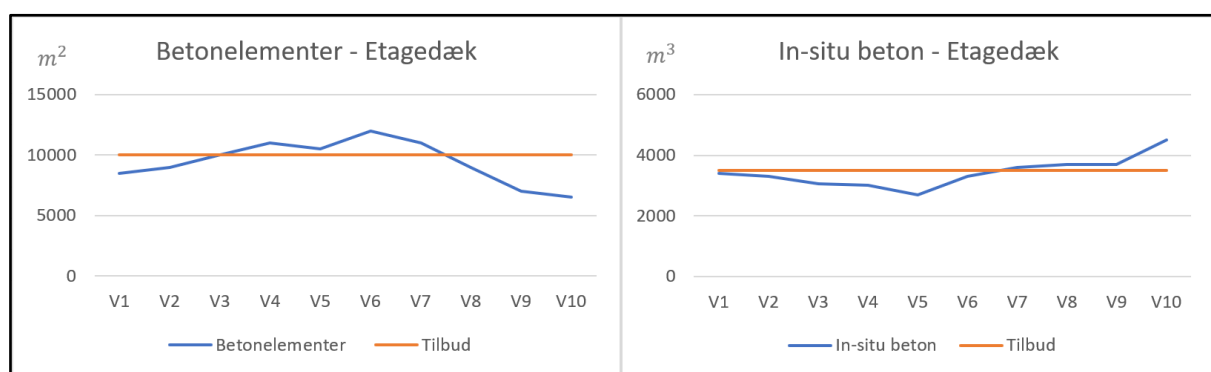
Kontrol og monitorering af mængder i BIM-modeller

I afsnit 1.2 blev det beskrevet, at MT Højgaard (MTH) anser de digitale modeller, som en central informationskilde for det daglige arbejde. Informationerne i BIM vil blandt andet kunne anvendes til at monitorer ændringer i mængder og materialer, hvilket kan have stor indflydelse på projektets økonomi – særligt ved totalentrepriser set fra totalentreprenørens perspektiv.

I årene 2013 til 2017 ses en stigning i udbuddet af totalentrepriser på over 177% (Byggefakta, 2018). MTH har derfor udtrykt, at de ser et stort potentiale i markedet for totalentrepriser. Dog har entreprisformen den ulempe, at den efterlader store dele af den samlede risiko til totalentreprenøren. Situationen kan opstilles som ”high risk high reward”. Risikoen skyldes, at totalentreprenøren giver et bindende tilbud på et uinformeret grundlag i de tidlige projektfaser. Derfor er projektstyring helt essentiel, hvis risikoen skal nedbringes.

Nærværende prototype har belyst muligheden for at skabe datatransparenthed og indsigt i BIM-modellernes udvikling. Samme teknikker er anvendelige i forbindelse med ændringer i materialevalg, konstruktionsløsninger eller tekniske installationer. Dette er relevant, da små ændringer kan have store økonomiske konsekvenser for projektets fastlagte budgetramme. Eksempelvis vil ændringer fra præfabrikerede betonelementdæk til in-situ støbt beton, eller fra almindelige døre til branddøre med ABDL, have store økonomiske konsekvenser.

En metode til at nedbringe risikoen er at monitorere og verificere mængder løbende gennem projektering. Figur 6-1 illustrerer et scenarie, hvor mængden af betonelementdæk er faldende, mens in-situ betondæk er opadgående ift. tilbudsmængden. Da in-situ beton er over 50% dyrere pr. m² kan dette have stor betydning for projektets samlede økonomi.



Figur 6-1 Eksempel på monitorering af mængder - Etagedæk

Den udarbejdede prototype kan tilgå mængderne, da informationerne er lagret i IFC-datamodellen. Herved kan Alteryx analysere, verificere og monitorere mængderne/materialerne, samt visualisere eventuelle udfald gennem dashboards i Power BI. Gennem få modifikationer af prototypen kan ændringer, som disse, automatisk monitoreres. Derved kan der skabes en langt bedre datatransparenthed i projektet.

Prototypen giver i princippet, mulighed for at kontrollere og monitorere alle former for data i BIM-modellerne. Denne indsigt giver projektledelsen et mere oplyst grundlag at styre projekterne ud fra.

Data analytics

Da Alteryx er udviklet som et data analytics program, er data mining og machine learning-teknikker integreret i softwaret. Derfor ses et stort potentiale i at anvende dataanalyseteknikker og -metoder i fremtiden.

Data analytics processer omhandler databehandling, datamanipulering og dataanalyser. Formålet er, at udforske og opdage mønstre i datakilder og at af- eller bekræfte hypoteser (Judd, McClelland, & Ryan, 2017). Dataanalyseteknikker kan overordnet opdeles i to kategorier: *descriptive analytics* og *predictive analytics*. Begge kategorier anvender algoritmer og matematiske modeller. Forskellen på de to er, at descriptive analytics analyserer og udforsker tendenser i historisk data, og derved giver indsigt i virksomhedens eller projektets hidtidige performance. Predictive analytics forudsiger fremtidige resultater (Berman, 2014). Predictive og descriptive analytics kan variere i kompleksitet, lige fra simple lineære regressioner til meget komplekse multiclass klassifikationsalgoritmer. Når komplekse algoritmer anvendes, kan dataanalysen kategoriseres som enten *supervised learning* eller *unsupervised learning*. Ved *supervised learning* er det mennesket, som lærer systemet at forstå de matematiske modeller gennem en række "træningsdatasæt". I *unsupervised learning* lærer programmet det selv. I begge tilfælde anvendes machine learning og data mining, som på sigt kan analysere mønstre og dybere logiske sammenhænge i datakilden.

I afsnit 3.2.2 blev det belyst, at tilpassende regelkoder udformes ved brug af algoritmer og matematiske modeller, mens guidende regelkoder baseres på erfaringsdatabaser. Begge typer er beskrevet ved at kunne identificere dybere sammenhænge i modellen og derved tilpasse regelsættet med afsæt i modellens indhold. Der ses altså lighedstræk mellem de to typer regelkoder og data analytics-teknikker. Det er naturligt, at "træningsdatasæt" til machine learning skal være retvisende. Ved brug af indeværende prototype kan fejlbehæftet og manglende data elimineres, og herved kan BIM-modellerne danne grundlag for retvisende "træningsdata". Da Alteryx muliggør machine learning og data mining, hvor matematiske modeller og algoritmer kan importeres og integreres gennem nodes, kan prototypen for fremtiden opsætte tilpassende og guidende regelkoder. Herved kan den BIM-baserede modelkontrol forventeligt gøres uafhængig af menneskeligt fortolkede regelkoder, og på sigt opsætte *best practice rules*.

7 Referencer

7.1 Litteraturliste

- Anton, I., & Tanase, D. (2016). Informed Geometries. Parametric Modelling and Energy Analysis in Early Stages of Design. *Energy Procedia*, 85, 9–16.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.269>
- Autodesk. (2018a). IFC export (type an instance). Retrieved from
<https://forums.autodesk.com/t5/revit-architecture-forum/ifc-export-type-an-instance/td-p/7751841>
- Autodesk. (2018b). Revit IFC manual, 1–52. Retrieved from
https://abcdblog.typepad.com/abcd/2018/Success_Stories/IFC-Manual-2018-ENU.PDF
- Bavafa, M. (2015). Enhancing Information Quality through Building Information Modelling Implementation within UK Structural Engineering Organisations, 1–42.
- Berman, J. (2014). Principles of Big Data: Preparing, Sharing, and Analyzing Complex Information. Retrieved from <https://library-books24x7-com.zorac.aub.aau.dk/toc.aspx?site=G45VZ&bookid=54056>
- Beyer, H., & Holtzblatt, K. (1998). *Contextual Design - Defining Customer-Centered Systems*.
- bips. (2014). *Produktblad CCS Informationsniveauer*. Retrieved from
https://bips.dk/files/news_files/informationsniveauer_20141211_r0.pdf
- bips. (2015a). BIM Survey 2014, 26. Retrieved from
http://bips.dk/files/news_files/bim_survey_2014_r0.pdf
- bips. (2015b). IKT-projektroller. Retrieved from <https://bips.dk/værktøjsemne/a305-ikt-projektroller#0>
- bips. (2016). IKT-specifikationer. *IKT-Specifikationer*. Retrieved from
<https://bips.dk/værktøjsemne/a102-ikt-specifikationer-2016#0>
- Bolpagni, M. (2016). BIM ThinkSpace: The Many Faces of ‘LOD.’ Retrieved November 7, 2018, from <https://www.bimthinkspace.com/2016/07/the-many-faces-of-lod.html>
- Borrmann, A., König, M., Koch, C., & Beets, J. (2015). *Building Information Modeling*.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-30502-3_9
- Brinkmann, S., & Kvale, S. (2009). *Interview - Introduktion til et håndværk* (2. Udgave).
- buildingSMART. (2018a). Coordination View Version 2.0 Summary. Retrieved from
<http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-view-definition/coordination-view-v2.0/summary>

buildingSMART. (2018b). IFC4. Retrieved from <http://www.buildingsmart-tech.org/mvd/IFC4Add1/RV/1.0/html/link/annex-d.htm>

Byggefakta. (2018). Totalentrepriserne sætter ny rekord i 2017 med projekter for 39,6 milliarder | Byggefakta. Retrieved October 29, 2018, from <https://www.byggefakta.dk/ny-rekord-for-totalentrepriserne-i-2017>

Bygherre Foreningen, Realdania, & Bygningssstyrelsen. (2017). Byggeriets veje til fremtidens rådgivningsydelser. *Bygherreforeningen*. Retrieved from https://www.arkitektforeningen.dk/system/files/private/byggeriets_veje_a4_final.pdf

Carlsen, M. (2018). Interview d. 08/11-2018.

Celani, G., & Vaz, C. E. V. (2012). CAD Scripting and Visual Programming Languages for Implementing Computational Design Concepts: A Comparison from a Pedagogical Point of View. *International Journal of Architectural Computing*, 10(1), 121–137. <https://doi.org/10.1260/1478-0771.10.1.121>

Deutsch, R. (2015). *Data-Driven Design and Construction Data-Driven Design and Construction*.

Dietrich, D., Heller, B., & Vang, B. (2015). Data Science and Big Data Analytics: Discovering, Analyzing, Visualizing and Presenting Data. Retrieved from <https://library-books24x7-com.zorac.aub.aau.dk/toc.aspx?site=G45VZ&bookid=72724>

DiKon. (2018). DiKon Suppelent til DiKon & BIM7AA's Bygningdselsspecifikationer. Retrieved from <https://www.dikon.info/publikationer/>

Ding, L., Drogemuller, R., Rosenman, M., Marchant, D., & Gero, J. (2006). Automating code checking for building designs - DesignCheck. *CRC for Construction Innovation*, (Clients Driving Innovation: Moving Ideas into Practice (pp.)), 1–16. Retrieved from <http://ro.uow.edu.au/engpapers/4842>

Eastman, C., Lee, J. min, Jeong, Y. suk, & Lee, J. kook. (2009). Automatic rule-based checking of building designs. *Automation in Construction*, 18(8), 1011–1033. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.07.002>

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM handbook*.

European Integration Office. (2011). *Guide To The Logical Framework Approach*.

Exigo. (2018). Business Intelligence - Exigo. Retrieved November 17, 2018, from <http://exigo.dk/ydelser/software-og-platforme/business-intelligence/>

Hjelseth, E. (2015). BIM-based Model Checking (BMC). *Building Information Modeling*, (March), 33–61. <https://doi.org/10.1061/9780784413982.ch02>

Hjelseth, E., Dimyadi, J., & Solihin, W. (2016). Classification of BIM-based Model checking concepts. *Journal of Information Technology in Construction*, 21(July), 354–370. Retrieved from https://www.itcon.org/papers/2016_23.content.07786.pdf

- Hjelseth, E., & Nisbet, N. (2015). Exploring semantic based model checking. *Proceedings of CIB W78 Conference*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/265821429_EXPLORING_SEMANTIC_BASED_MODEL_CHECKING
- Hooper, M. (2012). An Investigation into implementation prerequisites. Retrieved from http://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/6d491864-cc7b-41bd-bfe0-703c9218e537/FinalReport/SBUF_12187_Licentiatavhandling_Martin_Hooper_BIM_Anatomy.pdf
- Huang, M. L., & Huang, W. (2013). Innovative Approaches of Data Visualization and Visual Analytics, 1–24. <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-4309-3.ch001>
- J. SOCHA, G. (2017). Data Visualization: What is it? And can you trust it?, 10–13.
- Judd, C. M., McClelland, G. H., & Ryan, C. S. (2017). Data Analysis, 12, 13–18. <https://doi.org/10.4324/9781315744131>
- Kejser, M. (2018). Interview d. 19/10-2018.
- Khemlani, L. (2005). CORENET e-PlanCheck : Singapore's automated code checking system. *AECbytes - Building the Future*, 1–8. Retrieved from http://www.novacitynets.com/pdf/aecbytes_20052610.pdf
- Kousholt, B. (2014). *Organisation og mennesker* (1. Udgave). Praxis - Nyt Teknisk Forlag 2014.
- Leite, F., Akcamete, A., Akinci, B., Atasoy, G., & Kiziltas, S. (2011). Analysis of modeling effort and impact of different levels of detail in building information models. *Automation in Construction*, 20, 601–609. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.11.027>
- Lopez, R., Love, P. E. D., Edwards, D. J., & Davis, P. R. (2010). Design Error Classification, Causation, and Prevention in Construction Engineering. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 24(4), 399–408. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000116](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000116)
- Manuela, A., & Costa, C. J. (2014). Data Visualization. *Analysis*, 20(September), 128–132. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26874-3_4
- McGraw-Hill Construction. (2012). The Business Value of BIM in North America: Multi-Year Trend Analysis and User Ratings (p. 72). Retrieved from <https://bimforum.org/wp-content/uploads/2012/12/MHC-Business-Value-of-BIM-in-North-America-2007-2012-SMR.pdf>
- Molio. (2018a). Digital transformation i byggeriet. Retrieved from https://molio.dk/fileadmin/templates/Images/content_images/Kampagne/Digitalisering/Molio_Magasin.pdf
- Molio. (2018b). Digitalt Barometer. Retrieved from https://molio.dk/fileadmin/templates/Images/content_images/Kampagne/Digitalisering/Digitalt_Barometer_kvantitativ_uddrag.pdf

- Molio. (2018c). Rapport : Byggeriets digitale udvikling. Retrieved from https://molio.dk/fileadmin/templates/Images/content_images/Kampagne/Digitalisering/Praesentation_kvalitative_data_uddrag.pdf
- MT Højgaard A/S. (2017a). God BIM-modelleringsdisciplin med 12 simple regler. Retrieved from <https://mth.dk/Viden/Modelleringsskik>
- MT Højgaard A/S. (2017b). Kort om MT Højgaard. Retrieved from <http://mth.dk/Om-os/Kort-om-MT-Højgaard>
- Nisbet, N., Wix, J., & Conover, D. (2008). The future of virtual construction and regulation checking, 241–250.
- Nour, M., & Beucke, K. (2005). Manipulating IFC model data in conjunction with CAD, 253–260. Retrieved from <http://itc.scix.net/data/works/att/w78-2005-D4-1-Nour.pdf>
- Osterrieder, P., & Richter, S. (2004). IAI Project ST-5 Structural Timber Model Part I.
- Preidel, C., & Borrmann, A. (2015). Automated Code Compliance Checking Based on a Visual Language and Building Information Modeling, (July), 256–263. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1542.2805>
- Preidel, C., & Borrmann, A. (2016). Towards Code Compliance Checking on the basis of a Visual Programming Language TOWARDS CODE COMPLIANCE CHECKING ON THE BASIS OF A, 21(November), 402–421.
- Ramanauskas, R. (2018). Managing and Analysing BIM Data With Revit + Dynamo + Power BI. Retrieved November 17, 2018, from <https://www.linkedin.com/pulse/managing-analysing-bim-data-revit-dynamo-power-bi-ramanauskas/>
- Rasmusen, M. E. (2018). Interview d. 12/10-2018.
- Rasmussen, A. (1996). Introduktion til IDEF0. Retrieved from http://www.it.civil.aau.dk/it/education/reports/idef0_intro_rasmussen_1996.pdf
- Royal Institute of British Architects. (2012). BIM Overlay - to the RIBA Outline Plan of Work. *International Review of Electrical Engineering*, 4(4). <https://doi.org/http://www.ribaboo>
- Svidt, K. (2017). Information technology and building modeling 2017 - Interoperability.
- Thomas, J. J., & Cook, K. A. (2006). A visual analytics agenda. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 26(1), 10–13. <https://doi.org/10.1109/MCG.2006.5>
- Trafik- Bygge- og Boligstyrelsen. (2016). *Eksempelsamling om brandsikring af byggeri* (2. Udgave). Retrieved from <http://historisk.bygningsreglementet.dk/file/632981/Eksempelsamling.pdf>
- Vestergaard, F., Karlshøj, J., Hauch, P., Lambrecht, J., & Mouritsen, J. (2012). ØG-DDB Teknisk Rapport Afrapportering af projektet. *DTU Byg Rapport SR 12-06*.



Vogt, J., Norvik, H. ., & Mobakk, M. (2016). Safety information in BIM – Development and automatic.

Wix, J. (2013). What is IFC ? Retrieved from

http://www.it.civil.aau.dk/it/education/reports/building_smart/WS3_IDM_WhatIsTheIFCModel.pdf

Yoders, J. (2014). Level of Development : Will a new standard bring clarity to BIM model detail ?, (Aug), 1–2.

7.2 Tabel- og figur liste

Figur liste

Figur 1-1 Traditionel projektering sammenlignet med BIM-projektering. Indsatsen i BIM-projektering ligger i starten af projektet - (Svidt, 2017)	1
Figur 1-2 Spektrum af beslutningskriterier: Data fremme troværdigheden - (Deutsch, 2015)	2
Figur 1-3 MT Højgaards Groups vision	4
Figur 1-4 Nuværende workflow model – Illustrationen viser de gængse projektaktører afgrænset til udvekslingen af digitale leverancer i projekter hvor MTH er totalentreprenører	5
Figur 1-5: Problemtræ for projektets problemfelt. Årsager vises under det centrale problem (den grå boks), og konsekvenserne vises ovenfor.	8
Figur 1-6 Projektets afgrænsede problemtræ er vist til venstre, og det dertilhørende måltræ til højre. Det afgrænsede problemtræ viser de problemfelter, som bearbejdes i dette projekt. Måltræet, som er baseret på problemtræet, viser de mål, som er fokus på at opfylde i forbindelse med udarbejdelsen af projektet	10
Figur 2-1 Contextual design-metodikken – mod. efter (Beyer & Holtzblatt, 1998)	12
Figur 2-2 IDEF0-opbygning - (Rasmussen, 1996)	14
Figur 3-1 Interessentanalyse	17
Figur 3-2 Sekvensmodel for eksisterende arbejdsprocesser ved validering og kvalitetssikring af dataindholdet i BIM	18
Figur 3-3 Udvikling af BMC løsninger illustreret ved interaktion mellem regelsæt, BIM-filen og kontrolsoftwaret - (Hjelseth, 2015)	21
Figur 3-4 Regelkontrollen kan opdeles i fire overordnet faser - mod. efter (Eastman et al., 2009) ..	22
Figur 3-5 Valideringskontrol illustreret som Venn diagrammer – mod. efter (Hjelseth et al., 2016) ..	24
Figur 3-6 Princip for indholdskontrol – mod. efter (Hjelseth et al., 2016)	25
Figur 3-7 Bjælke der opnår højere informationsniveau gennem faserne - (bips, 2014)	28
Figur 3-8 DiKon's supplement for en væg - (DiKon, 2018)	29
Figur 3-9 BIM-maturity level's - (Royal Institute of British Architects, 2012)	30
Figur 3-10 Principper for informationsudveksling ved BIM maturity level 2 og 3 – mod. efter (Osterrieder & Richter, 2004)	31
Figur 3-11 IDEF0-baseret illustration af systemets funktion ved modellerings af informativ bygningsmodel	32
Figur 3-12 Metoder til dataudveksling imellem software - (Svidt, 2017)	33
Figur 3-13 Termerne "little BIM" og "BIG BIM" beskriver brugen af BIM, mens termerne "Closed BIM" og "Open BIM" beskriver udvekslingsformaterne – mod. efter (Borrmann et al., 2015)	34
Figur 3-14 buildingSMARTs indsatsområder (buildingSMART, 2018a)	34
Figur 3-15 IFC-datamodellens hierarkiske opbygning - (Borrmann et al., 2015)	36
Figur 3-16 IFC-datamodellens opbygning og relations forhold - mod. efter (buildingSMART, 2018b)	36



Figur 3-17 Revit standard parametre der mappes automatisk til IFC bsDD egenskaber - (Autodesk, 2018b)	37
Figur 3-18 IDEF0-baseret illustration af systemets funktionalitet ved data eksport til IFC	38
Figur 3-19 Solibri Model Checker konceptuelle opbygning.	40
Figur 3-20 Regelkodning og regel eksekvering i SMC - ruleset manager-modul. Til venstre ses regelskabelonen, hvori regelkoden defineres. Til højre ses checking-modulet, hvor udfaldet til regelkoden kan observeres.	42
Figur 3-21 Regel eksekvering i SMC sker på IFC-classes.....	43
Figur 3-22 Design-nodes set fra brugernes perspektiv - (Preidel & Borrmann, 2015).....	45
Figur 3-23 Alteryx userinterfacer: Menu 1: nodebibliotek, Menu 2: grafisk sammenkobling af koder, Menu 3: kodning af nodes og Menu 4: Outputværdier	46
Figur 3-24 Alteryx nodes set fra brugernes perspektiv - (Preidel & Borrmann, 2015).....	46
Figur 3-25 - Eksempel på samling af brandklasse-parametre (Fire rating placering) og dets værdier under en ny datalabel (Fire Rating)	47
Figur 3-26 IDEF0-baseret illustration af systemets funktionalitet ved BIM-baseret modelkontrol..	48
Figur 3-27 udsnit af sheets opbygning ved udtræk med IFC File Analyzer	49
Figur 3-28 IDEF0-baseret illustration af systemets funktionalitet ved eksport af IFC-data til Excel	50
Figur 3-29 IDEF0-baseret illustration af systemets funktionalitet ved visualisering af analyseresultater.....	52
Figur 3-30 Workshop i samarbejde med brugerne: Ideer til opsætning af digitale dashboards.	53
Figur 4-1 IDEF0-baseret illustration af systemets samlede funktionalitet.....	55
Figur 4-2 Case-bygning - Mulitflex Living.....	56
Figur 4-3 Prototypens tekniske proces.....	58
Figur 4-4 Generering af SimpleBIM template til automatisk import af IFC-bygningsmodel og eksport til Excel. Blå: Den tomme template. Orange: Variable der fortæller filstien til IFC-bygningsmodellen. Gul: De projektspecifikke inputs.....	59
Figur 4-5 omstrukturering af genereret template og eksport til .CSV	60
Figur 4-6 Generering af batchfil, der kan eksekveres gennem "run-command"-væktøjet	60
Figur 4-7 Illustrere batchfil eksekvering, der importer IFC-bygningsmodeller til SimpleBIM og genererer en Excel-fil.....	60
Figur 4-8 Data opdelt i Excel-sheets iht. IFC-classes	61
Figur 4-9 Data importeres til workflow 3	61
Figur 4-10 Datarensning og parametre samles under nye datalabels. Eksempel for klassifikationskoder	61
Figur 4-11 Illustration af resultatet ved datalabel-metoden, eksemplet viser udvendige vægge, klassifikationskode og deres placering.....	62
Figur 4-12 Renset data samles i Alteryx	62
Figur 4-13 Data import og segmenteringsproces, udforsker om objektet anvendes til dets formål og tildeler nye objekt kategorier.	63



Figur 4-14 Regelsæt til segmentering af vægobjekter	63
Figur 4-15 Decision tree metoden anvendt til segmentering af objekter i Alteryx	63
Figur 4-16 Filtrering af indvendige og udvendige vægge.....	64
Figur 4-17 Workflow 3: Geometrisk kontrol: eksempel "Objektet skal være forbundet den korrekte etage"- regelsæt (Geo_elevation).....	65
Figur 4-18 Data vedrørende etagehøjder tilknyttes hvert objekt	66
Figur 4-19 Workflow 3: informations kontrol: Eksempel fra brandklasse regelsæt (INFO_brand) .	66
Figur 4-20 Workflow 4: til klargøring af valideringsresultater til Power BI	68
Figur 4-21 Prototypens samlede workflow i Alteryx	69
Figur 4-22 Forside - Power BI dashboard	71
Figur 4-23 Udvendige vægge - Power BI dashboard.....	72
Figur 4-24 Udvendige vægge (detaljeret) - Power BI dashboard.....	72
Figur 4-25 Samlet modelvurdering - Power BI dashboard	73
Figur 4-26 Opdateret sekvensmodel ved brug af indeværende prototype.	74
Figur 4-27 Samlede eksekveringstid for indeværende prototype	75
Figur 4-28 Samling af workflow i et modul.....	75
Figur 4-29 Revit standardparametre til wall-objekter	77
Figur 4-30 Test af parametres tilstedeværelse	77
Figur 4-31 Proof of concept for indholdskontrol, hvor der oprettes tomme kolonner/parametre.	78
Figur 4-32 Modelleringsfejl i indeværende casebygning.....	80
Figur 4-33 Vægobjekt bag vinduesparti mellem to betonelementer.....	80
Figur 4-34 Curtain walls modelleret på tværs af etager	83
Figur 4-35 Conditional statements for udvendige vægge (U-værdi, brand og lyd).....	84
Figur 4-36 Uoverensstemmelse mellem antallet af parametre med brandegenskab og antallet af kontrollerede objekter	85
Figur 4-37 Plantegning af case-bygning (2. sal).....	85
Figur 5-1 Måltræ for projektet med markeringer af opfyldelsesgraden for de relevante mål. De mørkegrønne markeringer er mål, som vurderes til at være tilstrækkeligt opfyldt, og de lysegrønne markeringer er mål, der i nogen grad er opfyldt. De hvide markeringer er ikke bearbejdet i projektet.	93
Figur 6-1 Eksempel på monitorering af mængder - Etagedæk.....	94



Tabel liste:

Tabel 1-1 Analyse af 10 projekter, som omfatter ARK: 9 modeller, KON: 8 modeller, VVS: 7 modeller og EL: 8 modeller. - Eget værk.....	6
Tabel 1-2 Hyppigst anvendte modelleringssoftware i den danske bygge- og anlægsbranchen -(bips, 2015a).....	11
Tabel 3-1 Kravspecifikationer identificeret af interessenterne.....	20
Tabel 3-2 – De seks vigtigste af MTH’s regler for valideringskontrol (MT Højgaard A/S, 2017a).	20
Tabel 3-3 Koncepter indenfor regelkoder – mod. efter (Hjelseth et al., 2016)	24
Tabel 3-4 - Opsamling på SMC analyse, holdt op mod MTH’s kravspecifikationer	44
Tabel 3-5 Kategoriserings af datavisualiseringsværktøjer - mod. (Huang & Huang, 2013).....	51
Tabel 4-1 Bygningsdele og vurderingskriterier der vil kontrolleres i prototypen	57
Tabel 4-2 Testresultater for ”Oprindelige kategorier”	79
Tabel 4-3 Testresultater for ”Nye kategorier” (segmenteringsprocessen)	79
Tabel 4-4 Testresultater af testprojekt 1 for ”Oprindelige kategorier”	81
Tabel 4-5 Testresultater af testprojekt 1 for ”Nye kategorier” (segmenteringsprocessen).....	81
Tabel 4-6 Testresultater af testprojekt 2 for ”Oprindelige kategorier”	81
Tabel 4-7 Testresultater af testprojekt 2 for ”Nye kategorier” (segmenteringsprocessen)	81
Tabel 4-8 – Opfølgning på MT Højgaards kravspecifikationer	89

8 Appendiks og bilag liste

Appendiks 1 - Interview med C.F. Møller

Interviewguide og interview med Mathias E. Rasmussen fra C.F. Møller Architects A/S

Appendiks 2 - Interview med MT Højgaard

Interviewguide og interview med Martin Kejser fra MT Højgaard A/S

Appendiks 3 - Interview med Årstiderne Arkitekter

Interviewguide og interview med Mads Carlsen fra Årstiderne Arkitekter og aktivt medlem af DiKon

Appendiks 4 - BIM Maturity level 2 og 3

Beskrivelse af hvorledes BIM maturity level 2 og 3 håndteres i Revit.

Appendiks 5 - MT Højgaards regelsæt skabeloner i Solibri Model Checker

Analyse af MT Højgaards regelsæt skabeloner, der er anvendt i validering og kvalitetssikring af BIM (beskrevet i afsnit 3.1.1). Disse skabeloner har ligget til grund for valideringsresultaterne af de ti projekter, analyseret i tabel 1-1.

Appendiks 6 - Analyse af parameternavne

Analyse af 3 projekter, der undersøger hvor parametre af samme anvendelse hyppigst forekommer. Denne undersøgelse parameternavne for klassifikationskoder, U-værdier, Brandklasse og Lydklasse indenfor prototypens afgrænset bygningsdele.

Appendiks 7 - Regelsæt i Alteryx

Beskriver samtlige anvendt regelsæt i Alteryx til kontrol af geometri, information og klassifikation (workflow 3 step 6), samt segmenteringsprocessen (workflow 3 step 5).

Appendiks 8 - Dashboards i Power BI

Præsentation af samtlige dashboards i prototypen udviklet i Microsoft Power BI, med beskrivelse af hvilke udfald prototypen har registeret og hvorfor de er opstået.

Bilag 1 - Præsentation af casemodel

Præsentation af casemodel: Plan-, snit- og facadetegninger for casemodel (Multiflex Living – Kildeparken), som er anvendt i udviklingen af prototypen.