

Kostenramingen in Bonsai

Afstudeerscriptie over het opstellen van begrotingen en offertes in IFC met behulp van de open-source 3D-BIM-modeller Bonsai en Blender

The screenshot shows the Bonsai software interface. On the left, there is a 3D view of a building foundation model. On the right, a detailed cost breakdown table is displayed. The table includes columns for description, quantity, unit, price, and total cost.

Description	Quantity	Unit	Price	Total Cost
B1A(11) Bodenvoorzieningen	-	-	0.00	0.00
B1A(13) Vloeren op grondslag	-	-	0.00	0.00
B1A(14) Funderingsconstructies				32 072,90
B1A(14.05) Betonasco	-	-	32 072,90	32 072,90
B1A(16.05) Drijfvlakhaam ... m x ... m x ... m (bxhx)	26.85 m ³		1 194,73	32 072,90
B1A(17) Paathandelingen	-	-	0.00	0.00
B1A(AG) AG fundering	-	-	0.00	0.00
B1B Skelet				12 346,02
B1B(21) Buitewanden (skelet)	-	-	5 043,65	5 043,65
B1B(21.05) HSB wand 38x69 mm	31,80 m ²		2,64	83,96
B1B(21.05) Geimpregneerde rachet 18x45 mm	31,80 m ²		6,03	191,76
B1B(21.05) SLS 38x89 mm	31,80 m ²		0,58	12,05
B1B(21.05) Bevestigingsmiddelen	-	-	-	-
B1B(21.10) HSB wand 38x121 mm	-	-	-	731,41
B1B(21.10) Geimpregneerde rachet 18x45 mm	17,94 m ²		2,64	47,35
B1B(21.10) Dampopen waterkerende folie	17,94 m ²		4,62	82,66
B1B(21.10) SLS 38x120 mm	17,94 m ²		6,03	108,19
B1B(21.10) PIR 2-zijdig aluminium, D 120 mm, Rd 5,45	17,94 m ²		18,92	339,35
B1B(21.10) OSB-3, 1220x2440 mm, D 9 mm	17,94 m ²		1,70	66,36
B1B(21.10) Dampdichte folie, Sd-waarde ong. 100m	17,94 m ²		1,19	21,34
B1B(21.10) Gipsverzegelplaat, D 12,5 mm	17,94 m ²		3,30	59,19
B1B(21.10) Bevestigingsmiddelen	17,94 m ²		0,38	6,80
B1B(21.15) HSB wand 38x184 mm	-	-	-	4 024,47
B1B(21.15) Geimpregneerde rachet 28x45 mm	130,08 m ²		3,21	417,56
B1B(21.15) Dampopen waterkerende folie	89,78 m ²		4,62	414,79
B1B(21.15) SLS 38x184 mm	130,08 m ²		9,27	1 205,85
B1B(21.15) Knauf Naturroll 032, D 180 mm	89,78 m ²		12,85	1 153,70
B1B(21.15) OSB-5, 1220x2440 mm, D 9 mm	89,78 m ²		3,70	332,19
B1B(21.15) Dampdichte folie, Sd-waarde ong. 100m	130,08 m ²		1,19	154,80
B1B(21.15) Gipsverzegelplaat, D 12,5 mm	89,78 m ²		3,30	296,25
B1B(21.15) Bevestigingsmiddelen	130,08 m ²		0,38	49,30
B1B(22) Binnewanden (skelet)	-	-	-	850,20
B1B(22.05) HSB wand 44x70 mm	-	-	-	850,20

Auteur:

Rick de Blom

Bachelor thesis	HBO Bouwkunde
Titel	Kostenramingen in Bonsai
Afstudeervraag:	<i>In hoeverre kan het IFC-bestandsformaat in combinatie met Bonsai gebruikt worden voor kostenramingen die geïntegreerd zijn in een 3D model bij Domera?</i>
Datum:	07-01-2025

Auteur

Naam	Rick de Blom
Woonplaats	Hendrik Ido Ambacht
Studentennummer	1666222
Email	rick@domera.nl

Opdrachtgever

Naam	Domera V.O.F.
Adres	Gouderaksedijk 58 2808 NG Gouda
Contactpersonen	Maarten Vroegindeweij Marius Vroegindeweij

Opleiding

Instituut	HAN University of Applied Sciences
Opleiding	Built environment – bouwkunde deeltijd
Begeleiders	Ernest Boel Henkjan den Braven

Bovenste afbeelding voorzijde

(Cc0-Photographers, z.d.)

Voorwoord

Voor u ligt de scriptie "Kostenramingen in Bonsai". In deze scriptie worden de mogelijkheden onderzocht om kostenramingen en offertes te automatiseren met behulp van de open source BIM-tool Bonsai. Het doel van dit onderzoek is het optimaliseren van werkprocessen bij Domera door gebruik te maken van geïntegreerde 3D-modellen en geautomatiseerde koppelingen.

Deze scriptie is geschreven in het kader van mijn afstudeertraject aan de opleiding bouwkunde van de HAN University of Applied Sciences in Arnhem, in samenwerking met Domera. Van september 2024 tot januari 2025 heb ik mij gericht op het uitvoeren van dit onderzoek en het opstellen van deze scriptie.

Tijdens mijn studie heb ik brede kennis en ervaring opgedaan op het gebied van bouwkunde. Mijn wens om ook buiten dit vakgebied te leren, heeft mij ertoe gebracht dit onderzoek uit te voeren. Voor dit project heb ik mezelf het gebruik van Blender en Bonsai eigen gemaakt, evenals het programmeren in Python, waarbij ik ChatGPT heb gebruikt als ondersteuning. Daarnaast heb ik een actieve rol opgenomen in de open source-community, waarin ik niet alleen waardevolle inzichten en contacten heb opgedaan, maar ook een nieuw perspectief op de mogelijkheden van samenwerking en kennisdeling binnen de sector.

Om mijn onderzoek meer inzichtelijk te maken voor een breder publiek, heb ik tijdens mijn afstudeerperiode regelmatig LinkedIn-posts gedeeld waarin ik updates en beelden van mijn werkproces publiceerde. Voor de praktische uitvoering heb ik een bestaand bouwproject als testproject gebruikt. Dit project, dat oorspronkelijk in Revit was gemodelleerd en al gebouwd was, heb ik opnieuw gemodelleerd in Bonsai. Deze aanpak heeft niet alleen praktische inzichten opgeleverd, maar ook de toepasbaarheid van de onderzochte methodiek bewezen in een realistische context.

De uitdaging om te coderen en automatiseringsdoelen te realiseren, heeft niet alleen mijn professionele vaardigheden verder ontwikkeld, maar ook mijn kennis op het gebied van procesautomatisering en BIM verbreed.

Deze scriptie is bedoeld voor professionals en organisaties binnen de bouwsector die geïnteresseerd zijn in innovatieve methoden voor kostenbeheer, zoals aannemers, bouwkundig adviseurs en BIM-specialisten. Daarnaast biedt het waardevolle inzichten voor onderzoekers en studenten die zich bezighouden met procesautomatisering en bouwinformatiemodellering.

Ik wil graag mijn dank uitspreken naar mijn begeleiders, Ernest Boel en Henkjan den Braven, voor hun waardevolle begeleiding en constructieve feedback gedurende dit proces. Hun kritische blik en motiverende ondersteuning hebben een onmiskenbare rol gespeeld in het vormgeven van deze scriptie en het aanscherpen van mijn onderzoek. Daarnaast wil ik Maarten Vroegindeweij van Domera bedanken voor de inspirerende samenwerking en zijn betrokkenheid bij het onderzoek. Zijn praktijkervaring en diepgaande inzichten in de uitdagingen binnen de bouwsector hebben niet alleen de relevantie van dit onderzoek vergroot, maar ook een essentiële bijdrage geleverd aan het succesvol afronden van dit project.

Ik wens u veel leesplezier.

Rick de Blom

Hendrik Ido Ambacht, januari 2025

Samenvatting

Domera, een bouwbedrijf gespecialiseerd in drijvende woningen, onderzoekt hoe kostenramingen en offertes efficiënter en nauwkeuriger kunnen worden opgesteld. De huidige handmatige werkwijze leidt tot vertragingen en fouten, waardoor het proces tijdrovend is. Dit onderzoek richt zich op het gebruik van het open-source BIM-tool Bonsai in combinatie met het IFC-bestandsformaat om deze processen te automatiseren en te verbeteren.

Het doel van het onderzoek is kostenramingen volledig te integreren in een 3D-model. De centrale vraag luidt: *"In hoeverre kan het IFC-bestandsformaat in combinatie met Bonsai gebruikt worden voor kostenramingen die geïntegreerd zijn in een 3D model bij Domera?"* Daarnaast wordt gekeken naar de meest geschikte classificatiestandaard en de voordelen van directe modellering in plaats van het importeren van externe modellen.

De onderzoeks methode combineert literatuurstudies, praktijkexperimenten en data-analyses. De literatuurstudie/scriptie onderzocht hoe het IFC4x3 bestandsformaat en classificatiesystemen zoals STABU en NL-SfB bijdragen aan geautomatiseerde bouwprocessen. Praktijkexperimenten richtten zich op het modelleren van bouwonderdelen in Bonsai, waarbij kostengegevens automatisch aan het model werden gekoppeld. Scripts werden gebruikt om begrotingen en offertes te genereren.

Uit de experimenten bleek dat het IFC4x3 bestandsformaat uitstekend geschikt is voor kostenramingen vanwege de flexibiliteit en functionaliteiten. Het NL-SfB-classificatiesysteem sluit beter aan op de werkprocessen van Domera dan STABU, dankzij de logische indeling per bouwelement en de onafhankelijkheid van specifieke materialen. Directe modellering in Bonsai bleek bovendien betrouwbaarder dan het importeren van externe modellen, omdat dit dataverlies en interpretatiefouten voorkomt.

Automatisering leverde aanzienlijke tijdsbesparing op. Realtime synchronisatie van modelwijzigingen met kostengegevens zorgde voor een tijdsbesparing van maximaal 40% bij het verwerken van wijzigingen. Dit verbeterde niet alleen de snelheid, maar ook de nauwkeurigheid van het calculatieproces, waardoor fouten werden gereduceerd en de efficiëntie toenam.

Op basis van deze resultaten wordt aanbevolen om gebruikers te trainen in het gebruik van Bonsai en het IFC-bestandsformaat. Daarnaast wordt geadviseerd om het NL-SfB-classificatiesysteem te implementeren en verder te investeren in de ontwikkeling van automatiseringstools voor realtime synchronisatie. Toekomstig onderzoek kan zich richten op de schaalbaarheid van deze aanpak naar andere bouwprojecten en verbeteringen in gebruiksvriendelijkheid.



Summary

Domera, a construction company specializing in floating homes, is exploring ways to create cost estimates and quotations more efficiently and accurately. The current manual process leads to delays and errors, making it time-consuming. This research focuses on using the open-source BIM tool Bonsai in combination with the IFC file format to automate and improve these processes.

The goal of the research is to fully integrate cost estimates into a 3D model. The central question is: "*To what extent can the IFC file format, combined with Bonsai, be used for cost estimates integrated into a 3D model at Domera?*" Additionally, the research investigates the most suitable classification standard and the benefits of direct modeling over importing external models.

The research methodology combines literature review, practical experiments, and data analysis. The literature review/thesis examined how the IFC4x3 file format and classification systems such as STABU and NL-SfB contribute to automated construction processes. Practical experiments focused on modeling building components in Bonsai, where cost data was automatically linked to the model. Scripts were used to generate budgets and quotations.

The experiments showed that the IFC4x3 file format is highly suitable for cost estimation due to its flexibility and functionality. The NL-SfB classification system aligns better with Domera's work processes than STABU, thanks to its logical structure per building element and independence from specific materials. Direct modeling in Bonsai also proved to be more reliable than importing external models, as it avoids data loss and interpretative errors.

Automation resulted in significant time savings. Real-time synchronization of model changes with cost data led to a time savings of up to 40% when processing changes. This not only improved speed but also the accuracy of the estimation process, reducing errors and increasing efficiency.

Based on these findings, it is recommended to train users in the use of Bonsai and the IFC file format. Additionally, it is advised to implement the NL-SfB classification system and invest further in the development of automation tools for real-time synchronization. Future research can focus on the scalability of this approach to other construction projects and improvements in user-friendliness.

Inhoudsopgave

Voorwoord.....	2
Samenvatting.....	3
Summary.....	4
Begrippenlijst	7
1. Inleiding.....	9
1.1 Aanleiding.....	9
1.2 Probleemstelling.....	10
1.3 Hoofd- en deelvragen.....	11
1.4 Schema	11
1.5 Doelstelling.....	11
1.6 Afbakening	12
2. Onderzoekresultaten	14
2.1. Deelvraag 1: Wat is Bonsai en hoe werkt het?.....	14
2.2. Deelvraag 2: Is IFC, met name 2x3 of 4x3, geschikt voor begrotingen, planningen en offertes?	15
2.2.1. Deelconclusie	15
2.3. Deelvraag 3: Welk van de standaarden voor elementenbegrotingen, STABU of NL-SfB, past het best bij Domera?	16
2.3.1. Wat houdt de STABU-besteksystematiek in?	17
2.3.2. Hoe functioneert de NL-SfB-systematiek?	17
2.3.3. Vergelijking STABU VS NL-SfB.....	18
2.3.4. Multicriteria analyse.....	19
2.3.5. Deelconclusie	20
2.3.6. Begrotingsstandaard volgend uit deelconclusie	21
2.4. Deelvraag 4: Wat werkt beter, importeren of zelf modelleren in Bonsai?	22
2.5. Deelvraag 5: Hoe kan een realtime koppeling tussen een 3D model en het kostenramingssysteem bij Domera wijzigingen automatisch en foutloos doorvoeren in begrotingen en offertes?	25
2.5.1. Van probleem naar oplossing	27
2.5.2. Script 1, import van kostenbibliotheek in Bonsai.....	28
2.5.3. Script 2, export van offerte in Bonsai.....	31
2.5.4. Script 3, export van begroting in Bonsai.....	32
2.5.5. Tijdswinst door automatisering van begrotingen en offertes	34
2.5.6. Deelconclusie	35
3. Conclusie.....	36
4. Discussie	37

5. Aanbevelingen.....	38
Literatuurlijst	39
Bijlagen	41

Begrippenlijst

Add-on

Een add-on is een extra softwarecomponent dat functionaliteit toevoegt aan een bestaand programma, zoals een browser of applicatie, om de gebruikservaring uit te breiden of te verbeteren.

Classificatiesysteem in de bouw

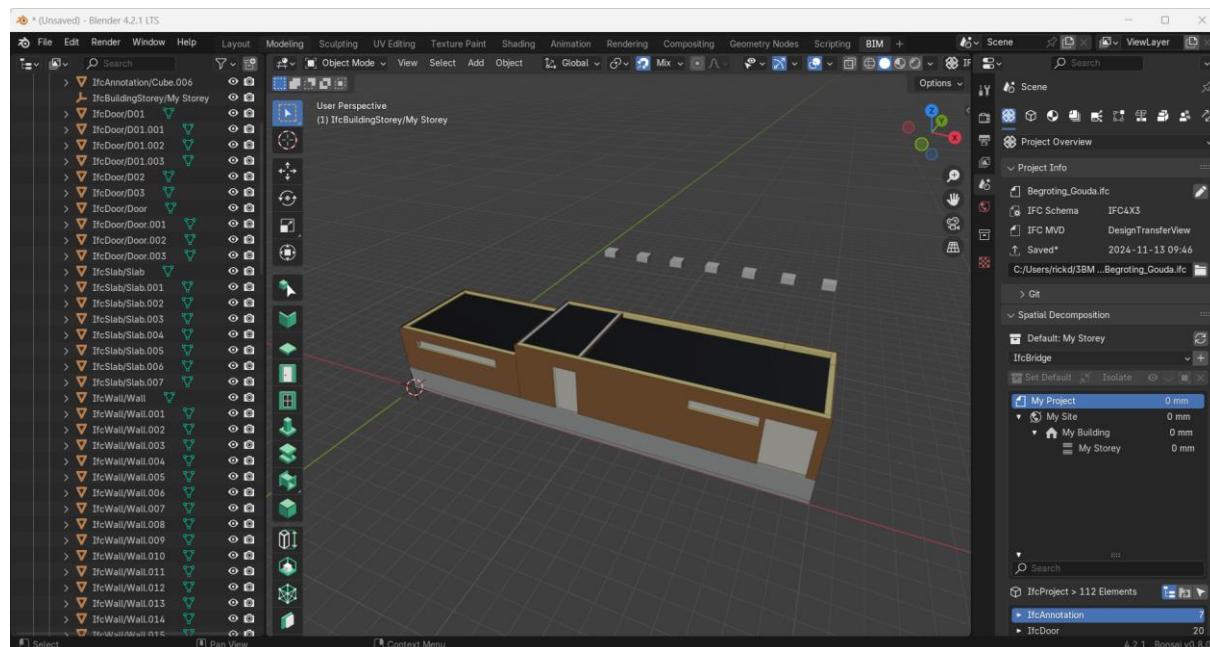
Een classificatiesysteem in de bouw is een gestandaardiseerde methode om bouwinformatie te structureren, organiseren en benoemen, waardoor samenwerking, communicatie en gegevensuitwisseling binnen projecten worden geoptimaliseerd.

Blender

Blender is een gratis en open-source 3D-creativesuite die wordt gebruikt voor het modelleren, animeren, renderen, simuleren en bewerken van visuele effecten, 2D- en 3D-animaties en meer (zie afbeelding hieronder).

Bonsai

Bonsai is een gratis en open-source BIM-tool dat het beheren, bewerken en analyseren van bouwinformatie mogelijk maakt met een focus op flexibiliteit, samenwerking en automatisering (zie afbeelding hieronder).



IFC

IFC (Industry Foundation Classes) is een open standaard voor het uitwisselen en beheren van bouwinformatie in BIM-processen, die zorgt voor interoperabiliteit tussen verschillende softwareplatforms.

IfcCostItem

IfcCostItem is een onderdeel van een digitaal bouwmodel dat gebruikt wordt om een specifieke kostenpost, zoals materialen of werkuren, overzichtelijk vast te leggen en te beheren.

IfcCostResource

IfcCostResource is een hulpmiddel in een digitaal bouwmodel om kosten, zoals uitgaven en budgetten, overzichtelijk bij te houden en te beheren.

IfcDateTimeResource

IfcDateTimeResource is een hulpmiddel in een digitaal bouwmodel om afspraken over datums en tijden, zoals planningen en deadlines, duidelijk vast te leggen en te beheren.

IfcKernel

IfcKernel is de basislaag van een digitaal bouwmodel die de belangrijkste bouwonderdelen en relaties vastlegt, zodat alles goed samenwerkt.

IfcProcessExtension

IfcProcessExtension is een hulpmiddel in een digitaal bouwmodel om werkzaamheden en planningen, zoals taken en bouwstappen, overzichtelijk te organiseren en te beheren.

IfcProductExtension

IfcProductExtension is een onderdeel van een digitaal bouwmodel dat helpt om bouwonderdelen, zoals muren of ramen, met hun locatie, vorm en eigenschappen vast te leggen.

IfcQuantitySet

IfcQuantitySet is een verzameling gegevens in een digitaal bouwmodel waarmee hoeveelheden en afmetingen van bouwonderdelen, zoals oppervlaktes of volumes, duidelijk worden vastgelegd.

Metadata

Metadata is informatie over andere informatie, zoals de datum waarop een foto is genomen of de grootte van een bestand, die helpt om dingen makkelijker te ordenen en terug te vinden.

Native-IFC

Native-IFC verwijst naar het directe werken met IFC-bestanden zonder conversie naar een eigen softwareformaat, waardoor bouwinformatie naadloos en volledig wordt uitgewisseld binnen BIM-workflows.

Semantiek

Semantiek in de informatica gaat over de betekenis van gegevens of symbolen, zodat computers en mensen begrijpen wat die informatie precies betekent.

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

W.J. Roodhorst heeft recent een onderzoek uitgevoerd naar “[de toekomst van \(Blender\)BIM](#)” voor ingenieursbureau 3BM. Een van zijn aanbevelingen betreft het uitvoeren van vervolgonderzoek naar de functionaliteiten van BlenderBIM, met specifieke aandacht voor begrotingen en planningen. Deze aanbeveling heeft bij Domera interesse gewekt om te onderzoeken welke mogelijkheden er zijn voor het opstellen van geautomatiseerde begrotingen en offertes binnen BlenderBIM, dat inmiddels de naam Bonsai draagt. Bonsai zal dan ook verder als uitgangspunt dienen in dit onderzoek.

Bonsai is een open source BIM-tool die zich richt op het vereenvoudigen van het bouwinformatiemodelleerproces (BIM), waarbij gebruikers modellen kunnen creëren, beheren en bewerken met een sterke focus op integratie, flexibiliteit en automatisering binnen het bouwproces. Dit sluit goed aan bij de behoeften van potentiële opdrachtgevers die met een ontwerp voor een drijvende woning bij Domera komen. Zij willen zo snel mogelijk een nauwkeurige kostenraming ontvangen voor de bouw van hun woning. In een ideale situatie zou dit proces met één druk op de knop kunnen worden uitgevoerd, waarbij een eenvoudig 3D model van de woning wordt gemodelleerd en aan de elementen van dit model de benodigde informatie is gekoppeld. Zodra het model gereed is, kunnen alle gegevens automatisch worden verwerkt in zowel de begroting als de offerte, waarna deze direct als pdf wordt opgeslagen in de gewenste map.

Een ander aspect dat tijdwinst kan opleveren, betreft het verwerken van wijzigingen in de begroting en offerte. Wanneer een potentiële opdrachtgever veranderingen wil doorvoeren, kost dit doorgaans veel tijd, voornamelijk doordat er vaak een langere periode tussen zit en de wijzigingen handmatig moeten worden gecontroleerd op onderlinge samenhang. De wens is daarom een realtime, volledig geautomatiseerde koppeling tussen het 3D model en de begroting/offerte. Hierdoor zouden wijzigingen die tijdens een vergadering in het 3D model worden aangebracht, automatisch en direct worden verwerkt in de begroting en offerte.

Een belangrijke methodiek die hierbij kan worden ingezet is de elementenbegroting. Deze aanpak biedt een gestructureerde en efficiënte manier om kostenramingen op te stellen door bouwprojecten op te delen in afzonderlijke bouwdelen, waarbij elke eenheid wordt gekoppeld aan specifieke kostprijsgegevens zoals materiaal, arbeid en overige factoren.

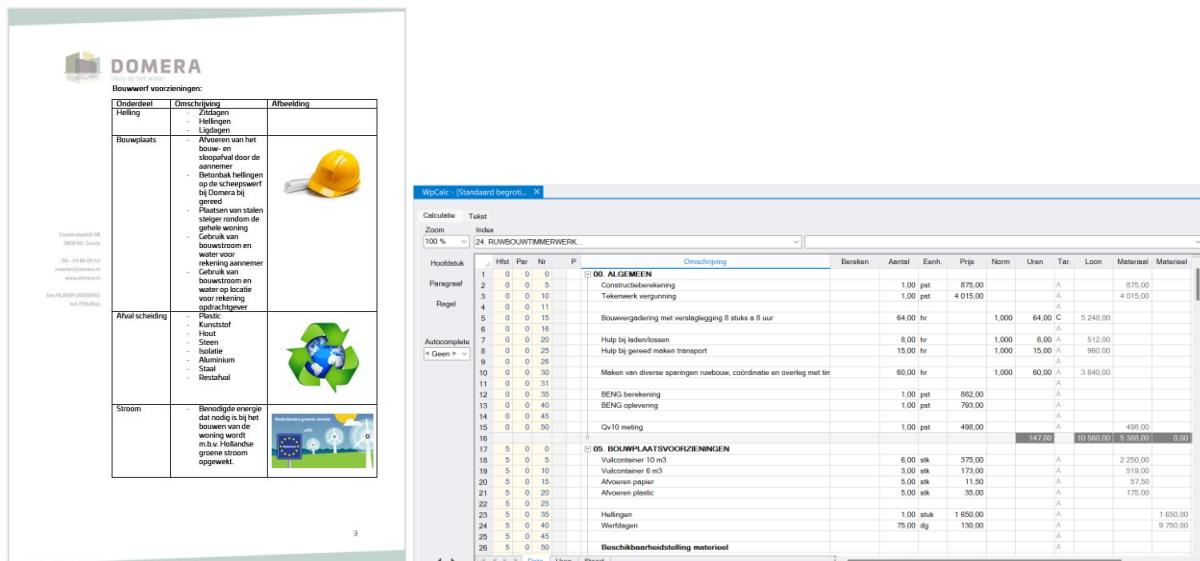
Toch bestaan er enkele hardnekkige vooroordelen over elementenbegrotingen, zoals dat deze ongeschikt zouden zijn voor kleinschalige projecten, oudere panden of lastig te interpreteren. Deze opvattingen berusten vaak op traditionele aannames. In werkelijkheid zijn elementenbegrotingen geschikt voor elk project, mits de kostprijsgegevens betrouwbaar en zorgvuldig zijn opgebouwd. Een goed gestructureerde kostprijsbibliotheek, met eenheden zoals per meter of stuk, is daarbij cruciaal. Automatische generatie van deze gegevens uit een BIM-model kan de tijd voor kostprijscalculaties met circa 40% verminderen (BIM en Elementenbegroting, een Ideale Combinatie, z.d.).

1.2 Probleemstelling

Domera, een bouwbedrijf dat zich richt op drijvende woningen, heeft te maken met uitdagingen in de efficiëntie en nauwkeurigheid van het opstellen van kostenramingen en offertes. De huidige werkwijze (zie figuur 1) vereist veel handmatige invoer, wat leidt tot tijdverlies en verhoogde foutkansen. Daarom is er behoefte aan een geautomatiseerd systeem dat integreert met 3D BIM-modellen. Dit systeem moet kostenramingen en offertes automatisch genereren en wijzigingen in het model direct en foutloos doorvoeren in de documenten.

De open source BIM-tool Bonsai, voorheen BlenderBIM, biedt mogelijkheden voor procesautomatisering. Het is echter nog niet duidelijk in hoeverre deze tool geschikt is voor het geautomatiseerd genereren van begrotingen en offertes. Daarnaast moet worden onderzocht of het IFC-bestandsformaat, met name de versies 2x3 en 4x3, geschikt is voor deze toepassing. Ook de keuze voor een classificatiesysteem, zoals STABU of NL-SfB, moet worden geëvalueerd om de meest geschikte standaard voor Domera te bepalen.

Dit onderzoek richt zich op de ontwikkeling van een geautomatiseerd systeem voor kostenramingen en offertes dat gebruikmaakt van Bonsai, het IFC-bestandsformaat en een elementenbegrotingsaanpak. Het doel is de efficiëntie te verhogen en de betrouwbaarheid van de gegevens te verbeteren door wijzigingen in het model direct door te voeren in de documenten.



Figuur 1, de huidige werkwijze voor offertes (Word) en begrotingen (WpCalc)

1.3 Hoofd- en deelvragen

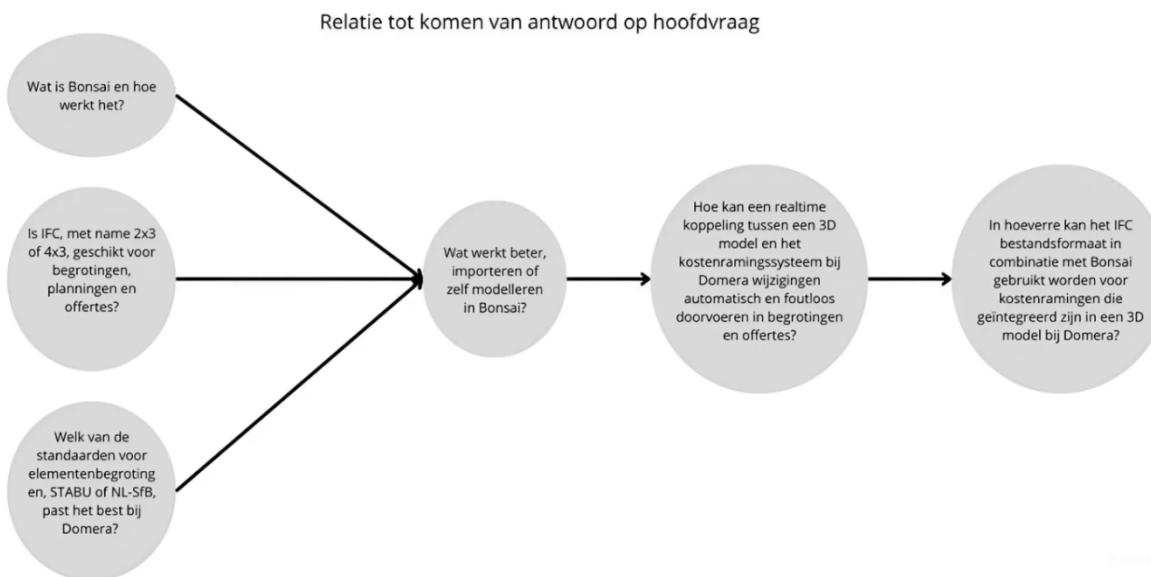
Hoofdvraag

In hoeverre kan het IFC-bestandsformaat in combinatie met Bonsai gebruikt worden voor kostenramingen die geïntegreerd zijn in een 3D model bij Domera?

Deelvragen

- 1) Wat is Bonsai en hoe werkt het?
- 2) Is IFC, met name 2x3 of 4x3, geschikt voor begrotingen, planningen en offertes?
- 3) Welk van de standaarden voor elementenbegrotingen, STABU of NL-SfB, past het best bij Domera?
- 4) Wat werkt beter: importeren of zelf modelleren in Bonsai?
- 5) Hoe kan een realtime koppeling tussen een 3D model en het kostenramingssysteem bij Domera wijzigingen automatisch en foutloos doorvoeren in begrotingen en offertes?

1.4 Schema



1.5 Doelstelling

Het uiteindelijke resultaat van dit onderzoek is de ontwikkeling van een geïntegreerd systeem binnen Bonsai voor het geautomatiseerd opstellen van begrotingen en offertes op basis van een 3D model. Dit systeem zal de volgende functionaliteiten bieden:

- 1) **Automatische kostenramingen:** Het systeem genereert nauwkeurige begrotingen op basis van een 3D model van een drijvende woning. Hierbij worden de bouwdelen van het model automatisch gekoppeld aan de relevante kostprijsgegevens. Zodra het model voltooid is, worden deze gegevens direct verwerkt tot een volledige begroting, wat leidt tot een aanzienlijke tijdsbesparing en een vermindering van handmatige invoerfouten.

- 2) **Geautomatiseerde offertegeneratie:** Naast de begroting zal het systeem een complete offerte genereren, die automatisch als pdf wordt opgeslagen in de gewenste map. Dit zorgt voor een naadloze overgang van het modelleerproces naar de presentatie van een professionele offerte, waarmee snel en efficiënt op klantverzoeken kan worden gereageerd.
- 3) **Realtime verwerking van wijzigingen:** Het systeem biedt de mogelijkheid om wijzigingen die in het 3D model worden aangebracht, direct door te voeren in zowel de begroting als de offerte. Dit betekent dat aanpassingen die tijdens overleg of vergaderingen worden gemaakt, automatisch en in realtime worden bijgewerkt in de kostencalculaties. Hierdoor wordt niet alleen tijd bespaard, maar ook de consistentie van de gegevens gewaarborgd, wat cruciaal is voor nauwkeurige projectramingen.
- 4) **Inzet van elementenbegrotingen:** Het systeem maakt gebruik van de methodiek van elementenbegrotingen. Hierbij worden bouwprojecten opgesplitst in afzonderlijke bouwdelen, waarbij elk onderdeel wordt gekoppeld aan specifieke kostprijsgegevens, zoals materialen, arbeid en andere factoren. Dit biedt een gestructureerde aanpak voor het opstellen van kostenramingen en maakt het mogelijk om de benodigde informatie eenvoudig en consistent te automatiseren.

Met Bonsai kan Domera sneller offertes opstellen, klantverzoeken flexibel verwerken en de nauwkeurigheid van kostencalculaties verbeteren. Hierdoor verkort de doorlooptijd en stijgt de klanttevredenheid.

1.6 Afbakening

In dit onderzoek richt Domera zich specifiek op het ontwikkelen en implementeren van een geïntegreerd systeem binnen Bonsai voor het automatisch genereren van begrotingen en offertes op basis van een 3D model van drijvende woningen. Dit houdt in dat de mogelijkheden en beperkingen van het IFC-bestandsformaat worden onderzocht in combinatie met de functionaliteiten van Bonsai, met de nadruk op kostenramingen, planningen en offertes. De focus ligt hierbij op de technische haalbaarheid en de praktische toepasbaarheid voor Domera, waarbij de volgende aspecten centraal staan:

Behorend tot dit onderzoek:

- 1) **Analyse van Bonsai functionaliteiten:** Er wordt onderzocht welke functies van Bonsai bijdragen aan het automatiseren van begrotingen en offertes, waarbij integratie met 3D modellen centraal staat.
- 2) **Geschiktheid van het IFC-bestandsformaat:** De studie onderzoekt hoe IFC (specifiek versies 2x3 en 4x3) kan worden ingezet om kostprijsgegevens te koppelen aan elementen binnen het 3D model.
- 3) **Keuze van een classificatiestandaard:** Er wordt een vergelijkende analyse uitgevoerd tussen STABU en NL-SfB om te bepalen welke standaard het meest geschikt is voor gebruik binnen Domera's BIM processen en kostenramingen.
- 4) **Realtime koppeling en automatische verwerking van wijzigingen:** Het onderzoek richt zich op de mogelijkheden om wijzigingen die tijdens de modellering of vergaderingen worden aangebracht, automatisch door te voeren in de begroting en offerte. Dit omvat het ontwikkelen van een koppeling die zorgt voor consistentie en tijdsbesparing.

5) **Opstellen van hoofd- en deelvragen:** De onderzoeks vragen worden gebruikt om de randvoorwaarden en vereisten van het systeem duidelijk in kaart te brengen, met een gerichte aanpak voor de praktische ontwikkeling van de oplossing.

Niet behorend tot dit onderzoek:

- 1) **Geen diepgaande softwareontwikkeling buiten Bonsai:** Het onderzoek richt zich uitsluitend op het integreren en optimaliseren van bestaande functionaliteiten binnen Bonsai. Het ontwikkelen van volledig nieuwe softwaretoepassingen valt buiten de scope.
- 2) **Geen algemene bouwprojecten:** Het onderzoek beperkt zich tot kostenramingen en offertes specifiek voor drijvende woningen en niet voor andere typen bouwprojecten.
- 3) **Geen handmatige of losse kostenberekeningen:** Het gebruik van traditionele methoden voor het opstellen van begrotingen en offertes (zoals handmatige invoer of gebruik van andere software) wordt niet meegenomen. De focus ligt op een volledig geautomatiseerde oplossing.
- 4) **Geen uitgebreide vergelijking van andere BIM-software:** Er worden geen andere BIM-softwarepakketten (buiten BlenderBIM/Bonsai) grondig geanalyseerd of vergeleken, de aandacht blijft gericht op de mogelijkheden binnen Bonsai.

2. Onderzoekresultaten

2.1. Deelvraag 1: Wat is Bonsai en hoe werkt het?

Bonsai is een geïntegreerd BIM-tool dat de functionaliteiten van verschillende BIM- en CAD-software, kostenramingsprogramma's, planningssoftware en simulatieapplicaties samenbrengt. De tool biedt uitgebreide mogelijkheden voor het beheren en optimaliseren van bouwprocessen, waarbij het niet alleen draait om modelleren, maar ook om het efficiënt integreren van gegevens zoals kosten, planning en assetbeheer. Gebruikers kunnen IFC-modellen visualiseren en verkennen, inclusief ruimtes, eigenschappen en relaties, waarmee ze de onderlinge verbanden in hun ontwerp kunnen begrijpen en een gedetailleerde digitale representatie van het gebouw kunnen creëren.

Bonsai stelt gebruikers in staat om attributen, eigenschappen en metadata direct uit IFC-gegevens te bewerken en te extraheren, wat de tool bijzonder geschikt maakt voor toepassingen die afhankelijk zijn van gedetailleerde modelinformatie. Bovendien kunnen de geometrieën van objecten eenvoudig worden verplaatst, geroteerd of gewijzigd, waarbij de IFC-semantiek behouden blijft. Dit waarborgt de consistentie van het model, zelfs wanneer er wijzigingen in de geometrie worden aangebracht.

Naast het bewerken van bestaande objecten, biedt Bonsai de mogelijkheid om nieuwe objecten te creëren, zowel met vooraf gedefinieerde bibliotheekelementen als met op maat gemaakte parametrische objecten. Dit biedt de flexibiliteit om alle aspecten van het model te modelleren, van standaard tot unieke elementen die specifiek aan de projectbehoeften voldoen. Classificatiesystemen kunnen worden beheerd, terwijl documentreferenties gekoppeld kunnen worden aan externe bibliotheken, wat de samenwerking en het gegevensbeheer vergemakkelijkt (Blender Foundation, z.d.).

Daarnaast maakt Bonsai het genereren van 2D-tekenweergaven mogelijk, zoals plattegronden, secties en gevelaanzichten, die volledig aanpasbare annotaties bevatten. Dit versnelt de communicatie van ontwerpinformatie en maakt het delen van projectdocumentatie efficiënter. De tool biedt ook ondersteuning voor het onderzoeken en bewerken van structurele analysemodellen met diverse staalprofielen, wat het mogelijk maakt om de structurele integriteit van het ontwerp te verifiëren en noodzakelijke aanpassingen door te voeren voor de stabiliteit en veiligheid van het gebouw.

Op het gebied van MEP (mechanisch, elektrisch en sanitair) stelt Bonsai gebruikers in staat complexe distributiesystemen zoals HVAC, sanitair en elektrotechnische installaties te modelleren en beheren. De tool maakt het mogelijk om de interactie tussen deze systemen te begrijpen en te optimaliseren, wat essentieel is voor het ontwerp van energie-efficiënte en goed functionerende gebouwen. Wat betreft planning biedt Bonsai tools voor het creëren van constructieschema's, het uitvoeren van kritieke pad analyses en het genereren van volgorde-animaties, waarmee bouwteams de voortgang kunnen visualiseren en het project efficiënt kunnen beheren.

Bonsai biedt daarnaast de mogelijkheid om hoeveelheden af te leiden van model elementen en kostenschema's te genereren met behulp van formules. Dit maakt de tool waardevol voor kostenraming en begrotingsprocessen, omdat gegevens automatisch geëxtraheerd en gekoppeld worden aan de begroting. Clash-detectie en modelcoördinatie zijn eveneens

geïntegreerd, waardoor problemen tussen verschillende disciplines tijdig kunnen worden geïdentificeerd en beheerd. Dit voorkomt fouten tijdens de uitvoering en zorgt voor een efficiënte samenwerking tussen teams.

Tot slot integreert Bonsai niet-geometrische gegevens, zoals kostprijsinformatie, planningen en assetbeheer, wat de tool niet alleen tot een krachtig BIM-modelleergereedschap maakt, maar ook tot een belangrijke schakel in bredere bouwlogistiek en operationele processen. Dankzij zijn open source karakter biedt Bonsai de flexibiliteit en aanpasbaarheid die noodzakelijk zijn om de tool te integreren in specifieke bedrijfsprocessen en workflows, wat het een waardevolle tool maakt voor bedrijven die op zoek zijn naar een geïntegreerde oplossing voor het ontwerpen, plannen, beheren en analyseren van hun bouwprojecten van begin tot eind (Introduction To BIM - Bonsai 0.8.0 Documentation, z.d.).

2.2. Deelvraag 2: Is IFC, met name 2x3 of 4x3, geschikt voor begrotingen, planningen en offertes?

Op basis van de literatuurstudie is de geschiktheid van het IFC-formaat voor begrotingen, planningen en offertes onderzocht. De bevindingen uit deze studie worden hieronder samengevat. Voor een uitgebreidere toelichting wordt verwezen naar bijlage 1, "Literatuurstudie".

2.2.1. Deelconclusie

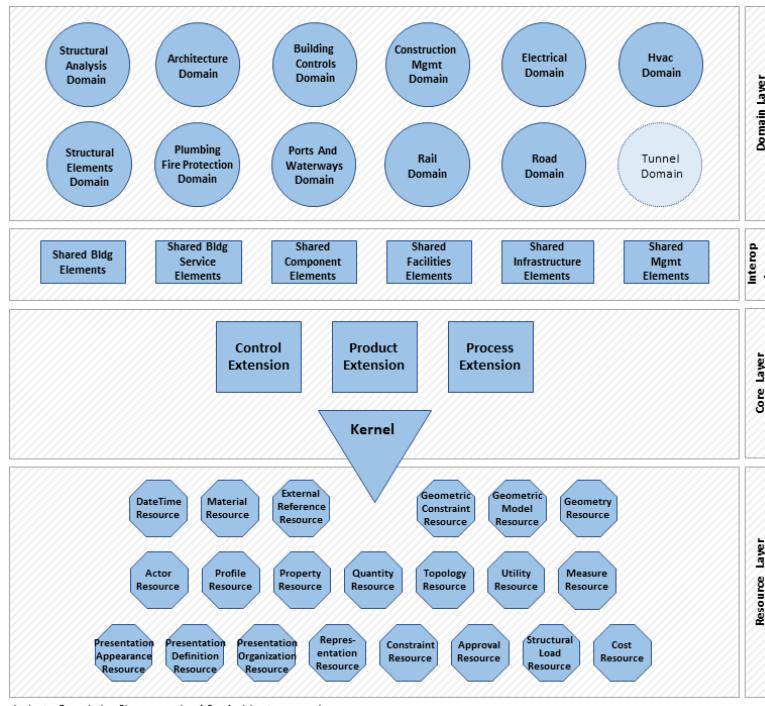
Uit de analyse van de versies van IFC, met name IFC2x3 en IFC4x3, blijkt dat IFC4x3 de beste keuze is voor de BIM-processen van Domera. Deze versie biedt verbeteringen in gegevensuitwisseling en samenwerking, specifiek gericht op civieltechnische en infrastructurele projecten. De functies binnen de dataschema architectuur van IFC4x3 (zie figuur 2) maken het mogelijk om zowel geometrische als niet-geometrische gegevens nauwkeurig en gestructureerd vast te leggen, wat de informatie-uitwisseling gedurende de projectlevenscyclus vergemakkelijkt.

Het IfcKernel schema vormt de basis voor objectdefinities en gegevensbeheer, wat nodig is voor de integratie van verschillende BIM-elementen. De uitbreidingen, zoals de IfcProcessExtension en IfcProductExtension, zorgen voor een duidelijke structurering van werkprocessen, productinformatie en planning, hetgeen belangrijk is voor het realiseren van geautomatiseerde en nauwkeurige begrotingen en offertes binnen de drijvende woningbouwprojecten van Domera. Het vermogen om gedetailleerde hoeveelheden en eigenschappen vast te leggen, zoals geboden door de Product Extension, waarborgt een betrouwbare gegevensuitwisseling die verder gaat dan de mogelijkheden van IFC2x3.

De verbeterde kostenbeheer- en planningsfunctionaliteiten binnen IFC4x3, zoals gespecificeerd in de IfcCostResource en IfcDateTimeResource schema's, bieden een structuur die flexibiliteit en nauwkeurigheid mogelijk maakt bij het plannen, beheren en opvolgen van projectkosten en tijdschema's. Deze verbeteringen zijn belangrijk voor Domera, omdat zij een integratie van begroting, planning en uitvoering van bouwprojecten mogelijk maken, zonder afhankelijk te zijn van gespecialiseerde software. Dit sluit aan bij de

wens van Domera om een efficiënte, betrouwbare en geautomatiseerde workflow te realiseren.

Kortom, door te kiezen voor IFC4x3 kan Domera profiteren van een gestroomlijnde, flexibele en foutloze gegevensuitwisseling die de samenwerking tussen verschillende betrokkenen bevordert en bijdraagt aan een efficiënte uitvoering van de bouwprojecten. IFC4x3 biedt daarmee een basis voor de verdere automatisering en optimalisatie van Domera's BIM-processen.



Figuur 2, dataschema architectuur van IFC4x3

2.3. Deelvraag 3: Welk van de standaarden voor elementenbegrotingen, STABU of NL-SfB, past het best bij Domera?

Domera, een kleinschalig bouwbedrijf gevestigd in Gouda, richt zich op particuliere klanten die meestal zelf een architect inschakelen voor het ontwerp van hun woning. Zodra het Voorlopig Ontwerp (VO) of Definitief Ontwerp (DO) is afgerond, vragen zij vaak bij meerdere bouwbedrijven een prijsopgave aan. Domera gebruikt op dit moment de STABU standaard voor het opstellen van begrotingen, ook wanneer er geen bestek beschikbaar is. In dit hoofdstuk wordt onderzocht of het overstappen naar een andere methode voor kostencalculatie voordelen kan bieden. Meer informatie over Domera is opgenomen in bijlage 2 "Verdiepende toelichting deelvraag 3 en 5, hoofdstuk 1, paragraaf 1.1.1".

2.3.1. Wat houdt de STABU-besteksystematiek in?

Sinds 1986 fungeert STABU als standaard voor het opstellen van bestekken in de woning- en utiliteitsbouw. Het biedt een gestructureerde methode voor het vastleggen van technische en administratieve kwaliteitseisen van bouwwerken, waarbij verantwoordelijkheden van betrokken partijen worden gedefinieerd. STABU is gebaseerd op de UAV 2012 en geldt als een belangrijk contractstuk binnen bouwprojecten.

De STABU-systematiek is toepasbaar in alle fasen van het bouwproces en bevat specificaties van het bouwwerk, inclusief juridische voorwaarden en kwaliteitsrichtlijnen. Deze opzet maakt het systeem geschikt voor geautomatiseerde gegevensverwerking bij planning, calculatie en BIM-toepassingen. Het systeem is ingedeeld in hoofdstukken, waarbij elk hoofdstuk een categorie van werkzaamheden behandelt.

Voorbeelden van categorieën zijn:

- **Grondwerk:** werkzaamheden zoals ontgraven, ophogen en egaliseren van terreinen;
- **Betonwerk:** het storten en afwerken van betonnen constructies, zoals funderingen en vloeren;
- **Stukadoorswerk:** het aanbrengen van pleisterlagen op wanden en plafonds voor een gladde afwerking;
- **Dakbedekkingen:** het aanbrengen van dakbedekkingsmaterialen voor een waterdichte afsluiting;

De indeling tot op materiaalniveau maakt STABU geschikt voor aannemers bij het inkopen van materialen en plannen van werkzaamheden. Door de gestandaardiseerde beschrijvingen kunnen zij nauwkeurig bepalen welke materialen en hoeveelheden nodig zijn, wat leidt tot efficiëntere inkoop en betere kostenbeheersing (Ketenstandaard Bouw en Techniek, 2024).

2.3.2. Hoe functioneert de NL-SfB-systematiek?

Het NL-SfB-classificatiesysteem is een open standaard voor het ordenen en filteren van bouw- en installatieliedelen, ook wel 'elementen' genoemd. Binnen dit systeem wordt tabel 1, waarin functionele gebouwelementen worden geclasseerd, het meest gebruikt. Deze classificatie ondersteunt alle fasen van het bouwproces: van ontwerp en realisatie tot beheer van bouwwerken. Door de opkomst van digitale technologie is de behoefte aan nauwkeurige codering sterk toegenomen (Ketenstandaard Bouw en Techniek, 2024a).

Het systeem functioneert als een sorteermethode, vergelijkbaar met een doos LEGO-blokjes die op kleur, grootte of functie worden gesorteerd. Op dezelfde manier kent NL-SfB unieke codes toe aan bouwdelen, wat zorgt voor een duidelijke structuur.

In BIM- en CAD-systeem wordt NL-SfB vaak gebruikt voor het coderen van lagen en objecten en het ordenen van productinformatie van leveranciers. De viercijferige elementcoderingen worden ook toegepast in diverse NEN-normen, zoals:

- NEN 2699:2017 – Investerings- en exploitatiekosten van onroerende zaken;
- NEN 2574:1993 – Tekeningen in de bouw – Indeling van gegevens op tekeningen voor gebouwen;
- NEN 2767-2:2017 – Conditiemeting van bouw- en installatieliedelen van gebouwen.

Een belangrijk kenmerk van NL-SfB is de focus op bouwelementniveau en de materiaalafhankelijkheid. Dit maakt het geschikt voor de vroege fasen van het bouwproces, waarin materialen vaak nog wijzigen. Het systeem wordt veel toegepast tot en met de bestekfase.

Een voorbeeld van de codering is '21-31-41'. Elke getallenreeks vertegenwoordigt een bouwdeel of element en verduidelijkt de onderlinge relaties en hiërarchie binnen een bouwwerk (Ketenstandaard Bouw en Techniek, 2024a).

2.3.3. Vergelijking STABU VS NL-SfB

Aspect	STABU	NL-SfB
Structuur	Geheel gebaseerd op een numerieke indeling met een hoofdstuknummer en een volgletter (bijv. 21.50.10-a)	Gebruik van tabellen met een gestructureerde indeling per categorie (0 t/m 4)
Kenmerk van de beschrijving	Korte omschrijving van de werkomschrijving, gericht op concrete uitvoeringsaspecten	Classificatie van elementen en functies binnen de gebouwde omgeving
Rubrieken	Rubrieken 0, 1, 2 zijn verplicht en bieden gedetailleerde technische specificaties	Tabellen 2 en 3 geven informatie over constructievormen en materialen
Bouwdeel/installatiedeel	Elk element krijgt een code die het bouwdeel of installatiedeel aanduidt (bijv. .01 FUNDERINGSBALK)	Functionele elementen worden gecategoriseerd (bijv. (21) = buitenwanden)
Flexibiliteit in ordening	Sorteercodes kunnen alternatieve ordening mogelijk maken voor bestekken	Tabellen kunnen in combinatie gebruikt worden voor flexibele classificatie
Koppeling met hoeveelheden	Integratie met hoeveelheden en eenheden voor begrotingsdoeleinden	Beperkte koppeling met hoeveelheden, meer focus op systeem- en productclassificatie
Toepassing	Veel gebruikt voor het opstellen van werkbeschrijvingen en specificaties voor bouwprojecten, vaak in combinatie met STABU-begrotingen	Richt zich meer op functionele en technische classificatie van bouwdelen en systemen, toegepast in zowel nieuwbouw als renovatieprojecten
Beheer en updates	Beheerd door Ketenstandaard Bouw en Techniek, met input van deskundigen uit de bouwsector en regelmatig geactualiseerd	Beheerd door Ketenstandaard Bouw en Techniek, met input van experts en bedrijven, en gericht op de integratie met andere standaardiseringstrajecten

Interoperabiliteit	Er worden initiatieven genomen voor integratie met andere standaarden zoals NL-SfB en BIM-systemen, maar de focus ligt vooral op bestekken	NL-SfB is ontworpen voor betere interoperabiliteit met BIM en andere systemen, vooral gericht op de classificatie van bouwdelen en systemen in projecten
Toepassing in BIM	STABU wordt steeds vaker gebruikt in BIM-omgevingen voor het opstellen van gedetailleerde werkbeschrijvingen en technische specificaties	NL-SfB ondersteunt de integratie met BIM door een uniforme indeling van elementen, wat de uitwisseling van gegevens tussen systemen bevordert

2.3.4. Multicriteria analyse

In deze multicriteria analyse wordt onderzocht welk classificatiesysteem, STABU of NL-SfB, het beste aansluit bij de behoeften van Domera binnen het BIM-proces. De focus ligt op de huidige toepassing van deze systemen bij Domera en welk systeem het meest effectief is voor het bedrijf.

Beide systemen bieden voordelen, maar het is belangrijk te bepalen welk systeem bijdraagt aan een efficiënte structuur van bouwinformatie, de optimalisatie van werkprocessen en de integratie binnen het BIM-systeem. Het doel van deze analyse is vast te stellen welk systeem de workflow bij Domera ondersteunt en daarbij tijdverlies in het bouwproces voorkomt.

In de MCA is gebruikgemaakt van een score van 1 tot 4. Een beknopte toelichting op de toegewezen scores volgt hieronder. Voor een gedetailleerdere uitleg wordt verwezen naar bijlage 2 "Verdiepende toelichting deelvraag 3 en 5, hoofdstuk 1, paragraaf 1.1.2".

Criteria	Weging	STABU	NL-SfB
BIM Integratie	30%	3	4
Detailniveau van technische eisen	25%	4	3
Flexibiliteit in gebruik	20%	3	4
Gebruiksgemak	10%	2	3
Ondersteuning van calculaties	10%	3	4
Ondersteuning van planning	5%	3	4
Totaalscore	100%	3,20	3,75

Criteria	Toelichting
BIM Integratie	Hoe goed integreert het systeem met bestaande BIM-processen?
Detailniveau van technische eisen	Helpt het systeem om gedetailleerde specificaties vast te leggen?
Flexibiliteit in gebruik	Kan het systeem worden aangepast aan specifieke projectvereisten?
Gebruiksgemak	Hoe intuïtief en gemakkelijk is het om te implementeren?
Ondersteuning van calculaties	Ondersteunt het systeem het automatisch verwerken van gegevens in calculaties?
Ondersteuning van planning	Kan het systeem bijdragen aan efficiënte projectplanning?

BIM Integratie (30%)

- STABU: 3 – Goede integratie, maar minder flexibel in bouwdeelstructurering.
- NL-SfB: 4 – Flexibeler en beter toepasbaar in verschillende fasen van het bouwproces.

Detailniveau technische eisen (25%)

- STABU: 4 – Zeer gedetailleerd en geschikt voor juridische en technische specificaties.
- NL-SfB: 3 – Minder gedetailleerd, meer gericht op bouwdeelstructurering.

Flexibiliteit in gebruik (20%)

- STABU: 3 – Flexibel in de bouwfase, maar minder in andere fasen.
- NL-SfB: 4 – Uitstekend toepasbaar in alle fasen van het bouwproces.

Gebruiksgemak (10%)

- STABU: 2 – Complex en vereist een lange leercurve.
- NL-SfB: 3 – Gebruiksvriendelijk door gestructureerde elementcoderingen.

Ondersteuning calculaties (10%)

- STABU: 3 – Redelijke ondersteuning, minder geautomatiseerd.
- NL-SfB: 4 – Beter geschikt voor automatische kostenramingen.

Ondersteuning planning (5%)

- STABU: 3 – Redelijke ondersteuning, maar beperkt.
- NL-SfB: 4 – Flexibel en goed geschikt voor planningsprocessen.

2.3.5. Deelconclusie

Uit de multicriteria analyse blijkt dat NL-SfB beter aansluit bij de werkprocessen van Domera dan STABU. Hoewel STABU gedetailleerde technische eisen en juridische specificaties biedt, scoort NL-SfB beter op aspecten zoals flexibiliteit, BIM-integratie en ondersteuning van calculaties. Deze aspecten zijn belangrijk voor Domera, omdat het bedrijf zich richt op het snel verstrekken van prijsopgaven aan particuliere klanten op basis van ontwerpen van externe architecten.

Binnen Domera wordt momenteel STABU gebruikt, zelfs wanneer er geen formeel bestek beschikbaar is. Dit zorgt voor complexiteit en een langere leercurve, wat niet optimaal is voor het projectgerichte en klantgerichte proces van Domera. NL-SfB biedt meer gebruiksgemak en is beter toepasbaar in verschillende fasen van het bouwproces, wat de doorlooptijd en efficiëntie van het calculatieproces verbetert.

De overstap naar NL-SfB zou Domera in staat stellen haar processen beter te structureren en sneller te reageren op verzoeken van particuliere klanten, wat tijdwinst oplevert en de integratie van calculaties en planningen binnen het BIM-proces bevordert. Deze voordelen, samen met de betere ondersteuning voor geautomatiseerde kostencalculaties, maken NL-SfB geschikt voor toekomstige projecten.

2.3.6. Begrotingsstandaard volgend uit deelconclusie

Zoals beschreven in paragraaf 2.3.2, is de NL-SfB geïntegreerd in de NEN 2699:2017, wat de keuze om deze norm te hanteren bij de verdere uitwerking van het proces verklaart. De NEN 2699:2017 biedt een gestandaardiseerd kader voor het classificeren en definiëren van investerings- en exploitatiekosten van onroerende zaken, met nadruk op levensduurkosten (LCC). De integratie van de NL-SfB maakt het mogelijk kostenstructuren efficiënt te koppelen aan de verschillende fasen van een bouwproject, van ontwerp tot exploitatie.

Centraal in de norm staat de uitklaptabel (zie figuur 3), waarin kosten over zes detailniveaus verdeeld worden. Deze structuur maakt het mogelijk kostengegevens flexibel aan te passen aan de specifieke eisen van een project. De rubricering onderscheidt hoofdcategorieën zoals grondkosten, bouwkosten, inrichtingskosten, bijkomende kosten, exploitatiekosten en baten. Voor investeringskosten omvat de norm alle uitgaven die verband houden met de oprichting van een onroerende zaak, zoals grondverwerving, bouwkundige werken en installaties. Exploitatiekosten richten zich op terugkerende uitgaven, zoals belastingen, onderhoud en energieverbruik, die specifiek gerelateerd zijn aan het gebruik en beheer van het gebouw. Door de integrale benadering van zowel investerings- als exploitatiekosten ontstaat een completer beeld van de totale levensduurkosten, wat bijdraagt aan een betrouwbaardere kostenraming door het gehele project.

De norm biedt een consistent en gedetailleerd kostenoverzicht door het volledige project en levert voordelen voor het realiseren van een kostenstructuur (NEN 2699:2017 NI, z.d.).

1	2	3	4	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	2	3	4	Uitkaptabel behorend bij NEN 2699:2016; niveaus 1 t/m 4								
5	6	7	8	Niveau 1: Rubrieken								
9	10	11	12	Niveau 2: Clusters								
13	14	15	16	Niveau 3: Elementclusters								
17	18	19	20	Niveau 4: Elementen								
21	22	23	24									
25	26	27	28									
29	30	31	32									
33	34	35	36									
37	38	39	40									
41	42	43	44									
45	46	47	48									
49	50	51	52									
53	54	55	56									
57	58	59	60									
61	62	63	64									
65	66	67	68									
69	70	71	72									
73	74	75	76									
77	78	79	80									
81	82	83	84									
85	86	87	88									
89	90	91	92									
93	94	95	96									
97	98	99	100									
101	102	103	104									
105	106	107	108									
109	110	111	112									
113	114	115	116									
117	118	119	120									
121	122	123	124									
125	126	127	128									
129	130	131	132									
133	134	135	136									
137	138	139	140									
141	142	143	144									
145	146	147	148									
149	150	151	152									
153	154	155	156									
157	158	159	160									
161	162	163	164									
165	166	167	168									
169	170	171	172									
173	174	175	176									
177	178	179	180									
181	182	183	184									
185	186	187	188									
189	190	191	192									
193	194	195	196									
197	198	199	200									
201	202	203	204									
205	206	207	208									
209	210	211	212									
213	214	215	216									
217	218	219	220									
221	222	223	224									
225	226	227	228									
229	230	231	232									
233	234	235	236									
237	238	239	240									
241	242	243	244									
245	246	247	248									
249	250	251	252									
253	254	255	256									
257	258	259	260									
261	262	263	264									
265	266	267	268									
269	270	271	272									
273	274	275	276									
277	278	279	280									
281	282	283	284									
285	286	287	288									
289	290	291	292									
293	294	295	296									
297	298	299	300									
301	302	303	304									
305	306	307	308									
309	310	311	312									
313	314	315	316									
317	318	319	320									
321	322	323	324									
325	326	327	328									
329	330	331	332									
333	334	335	336									
337	338	339	340									
341	342	343	344									
345	346	347	348									
349	350	351	352									
353	354	355	356									
357	358	359	360									
361	362	363	364									
365	366	367	368									
369	370	371	372									
373	374	375	376									
377	378	379	380									
381	382	383	384									
385	386	387	388									
389	390	391	392									
393	394	395	396									
397	398	399	400									
401	402	403	404									
405	406	407	408									
409	410	411	412									
413	414	415	416									
417	418	419	420									
421	422	423	424									
425	426	427	428									
429	430	431	432									
433	434	435	436									
437	438	439	440									
441	442	443	444									
445	446	447	448									
449	450	451	452									
453	454	455	456									
457	458	459	460									
461	462	463	464									
465	466	467	468									
469	470	471	472									
473	474	475	476									
477	478	479	480									
481	482	483	484									
485	486	487	488									
489	490	491	492									
493	494	495	496									
497	498	499	500									
501	502	503	504									
505	506	507	508									
509	510	511	512									
513	514	515	516									
517	518	519	520									
521	522	523	524									
525	526	527	528									
529	530	531	532									
533	534	535	536									
537	538	539	540									
541	542	543	544									
545	546	547	548									
549	550	551	552									
553	554	555	556									
557	558	559	560									
561	562	563	564									
565	566	567	568									
569	570	571	572									
573	574	575	576									
577	578	579	580									
581	582	583	584									
585	586	587	588									
589	590	591	592									
593	594	595	596									
597	598	599	600									
601	602	603	604									
605	606	607	608									
609	610	611	612									
613	614	615	616									
617	618	619	620									
621	622	623	624									
625	626	627	628									
629	630	631	632									
633	634	635	636									
637	638	639	640									
641	642	643	644									
645	646	647	648									
649	650	651	652									
653	654	655	656									
657	658	659	660									
661	662	663	664									
665	666	667	668									
669	670	671	672</td									

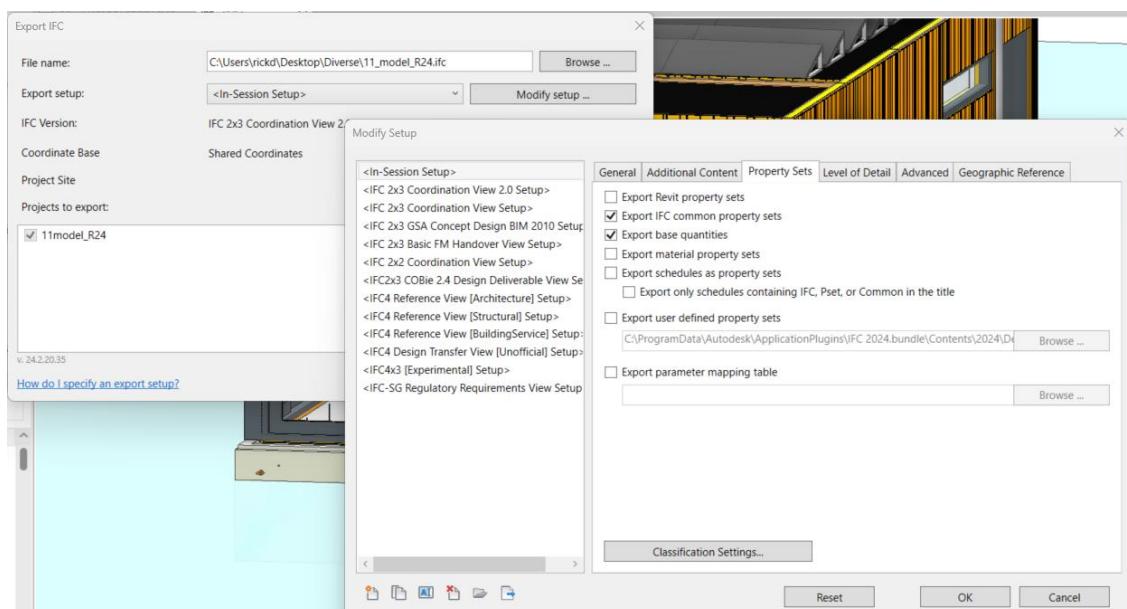
Figuur 3: uitklaptabel met hyperlinks

2.4. Deelvraag 4: Wat werkt beter, importeren of zelf modelleren in Bonsai?

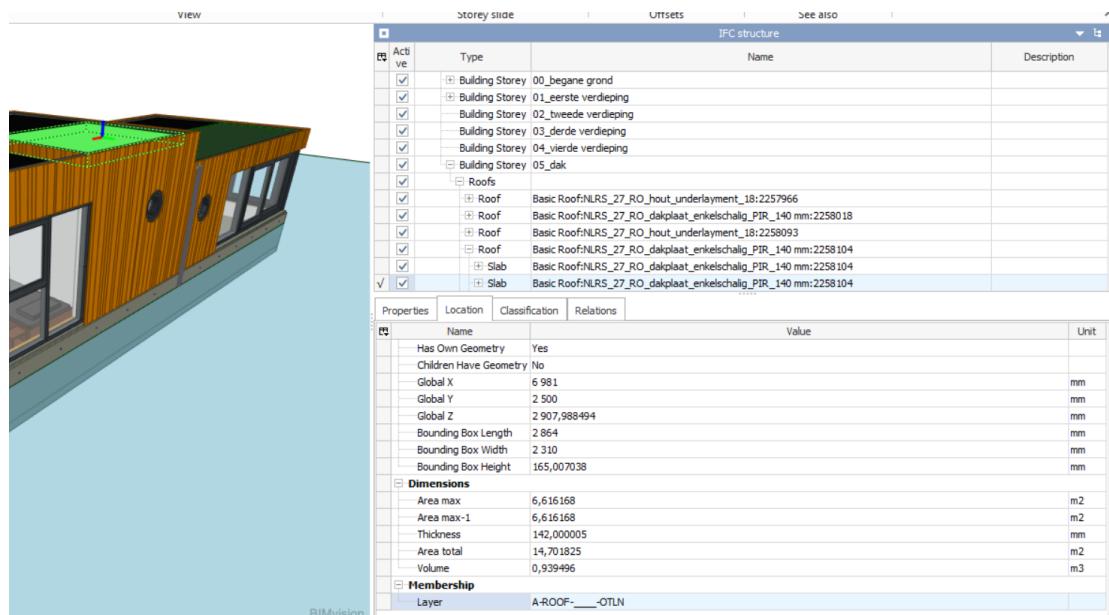
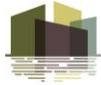
Het IFC-formaat speelt een centrale rol in de uitwisseling van gegevens binnen de bouwsector, vooral in de context van BIM. Dit open en gestandaardiseerde bestandsformaat maakt het mogelijk om niet alleen geometrische gegevens, maar ook gedetailleerde informatie over bouwcomponenten, zoals materialen, afmetingen en hoeveelheden, vast te leggen. Hierdoor is het bijzonder waardevol voor het opstellen van begrotingen en offertes, waarbij de in het model opgeslagen informatie direct kan worden gekoppeld aan kostenberekeningen.

De kwaliteit van de IFC-export in 3D-BIM-modellen is sterk afhankelijk van de gebruikte software. In de praktijk blijkt dat sommige softwarepakketten, zoals Revit, niet altijd optimaal exporteren voor het verkrijgen van nauwkeurige hoeveelheden en andere gegevens die essentieel zijn voor kostencalculatie en begroting. Revit biedt de mogelijkheid om IFC-bestanden te exporteren, maar de kwaliteit van deze export is afhankelijk van de juiste instellingen.

Wanneer een IFC-bestand vanuit Revit wordt geëxporteerd, is het noodzakelijk dat specifieke instellingen zorgvuldig worden geconfigureerd om de juiste hoeveelheden en gegevens correct weer te geven in een IFC-viewer. Deze instellingen bepalen welke informatie wordt meegenomen in het exportproces, zoals geïllustreerd in figuur 4. Correct ingestelde exportopties zorgen ervoor dat de hoeveelheden en andere relevante gegevens zichtbaar zijn in de IFC-viewer, zoals weergegeven in figuur 5 (How To Export Model From Revit To IFC File Format With Quantities, z.d.).

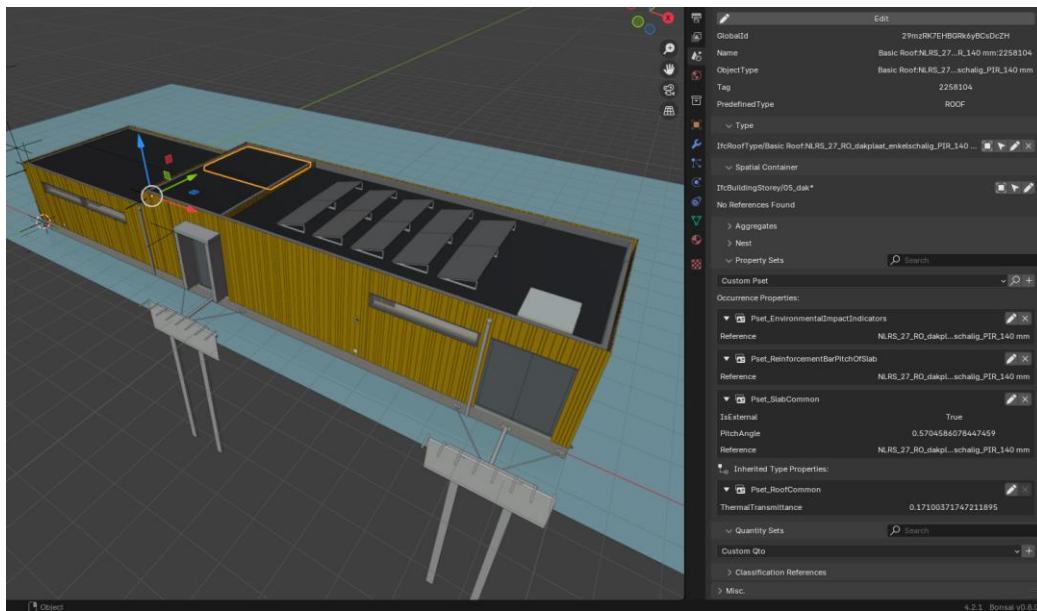


Figuur 4, exporteren van IFC uit Revit



Figuur 5, IFC-viewer

Desondanks blijkt de export vanuit Revit niet altijd goed te werken in andere toepassingen, zoals Bonsai. Wanneer het IFC-model in Bonsai wordt ingeladen, wordt de informatie vaak niet correct uitgelezen (zie figuur 6), wat gevolgen heeft voor de nauwkeurigheid van de begrotingen en offertes die binnen Bonsai worden gegenereerd. Dit maakt het moeilijk om de juiste hoeveelheden en andere benodigde gegevens automatisch te extraheren, wat de betrouwbaarheid van de begrotingen ondermijnt.



Figuur 6, Bonsai

De oorzaak van dit probleem ligt in de verschillende manieren waarop softwarepakketten omgaan met het IFC-formaat. Revit maakt gebruik van een 'Revit-matige' IFC-export, waarbij modellen vaak worden omgezet in mesh- of een combinatie van mesh- en solid-objecten. Mesh-objecten, die doorgaans minder gedetailleerd zijn dan solid-objecten, kunnen leiden tot onnauwkeurigheden bij het exporteren van hoeveelheden, omdat de benodigde informatie zoals volumes en oppervlakken mogelijk niet correct wordt

overgedragen naar het IFC-bestand. Dit heeft een impact op de kostencalculatie, aangezien de benodigde gegevens vaak onvolledig of onnauwkeurig zijn (Stanton, 2024).

Dit roept de vraag op of het gebruik van mesh-objecten in plaats van solids de kwaliteit van de gegevens in het IFC-bestand beïnvloedt. Mesh-objecten kunnen, vanwege hun eenvoudiger geometrie, problematisch zijn voor het berekenen van hoeveelheden en andere gegevens die een hoge mate van nauwkeurigheid vereisen. Dit maakt het moeilijk voor software zoals Bonsai om betrouwbare kostencalculaties te genereren, aangezien de geëxporteerde gegevens vaak niet de vereiste nauwkeurigheid bieden.

Voor Domera, dat momenteel met Revit werkt, betekent dit dat extra stappen nodig zijn om de exportkwaliteit van IFC-bestanden te waarborgen, zodat de gegevens correct kunnen worden ingelezen en gebruikt voor kostencalculatie en het opstellen van offertes in Bonsai. Het exportproces van IFC-bestanden uit Revit dient zorgvuldig te worden gecontroleerd en er moet worden gezocht naar oplossingen die de betrouwbaarheid van de gegevens kunnen verbeteren. Dit kan onder andere het toevoegen van extra configuraties en controlemechanismen inhouden om te zorgen dat het geëxporteerde model voldoet aan de eisen voor een gedetailleerde en betrouwbare begroting.

Samenvattend, het exporteren van een IFC-model vanuit Revit is een belangrijke, maar complexe stap in het proces van het opstellen van een gedetailleerde begroting. De uitdagingen, zoals het goed instellen van de exportopties, het omgaan met mesh- en solid-objecten, en het waarborgen van de nauwkeurigheid van de hoeveelheden, moeten zorgvuldig worden aangepakt. Alleen door deze factoren te optimaliseren, kan de belofte van geautomatiseerde en nauwkeurige kostencalculaties met behulp van BIM-technologieën volledig worden gerealiseerd.

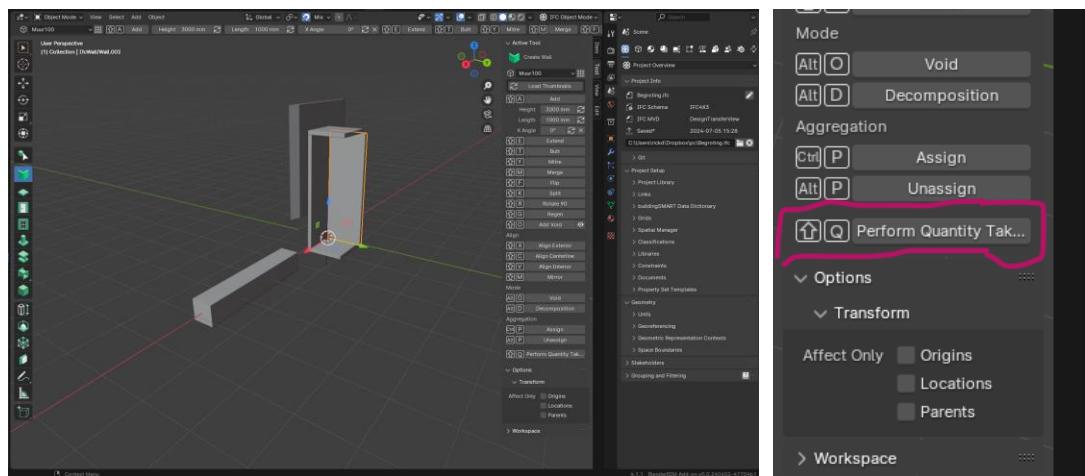
Om deze beperkingen te overwinnen, is gekozen om rechtstreeks in Bonsai te modelleren. Door het 3D-model en de bijbehorende gegevens direct in Bonsai te creëren, is alle informatie volledig en correct beschikbaar. Dit vormt de basis voor de automatische verwerking van data in begrotingen en offertes, zonder risico's van incomplete of foutief geïnterpreteerde gegevens. Deze aanpak levert tijdwinst op, aangezien geen extra conversiestap of controle- of correctiewerkzaamheden nodig zijn.

Een voordeel van direct modelleren in Bonsai is de mogelijkheid om wijzigingen in het ontwerp naadloos te integreren. Wanneer een opdrachtgever veranderingen doorvoert, worden deze direct in het model aangepast, waarna de gekoppelde begroting en offerte automatisch worden bijgewerkt. Deze realtime koppeling tussen model en begroting draagt bij aan een efficiënter en betrouwbaarder proces voor kostenramingen binnen de bouwsector.

2.5. Deelvraag 5: Hoe kan een realtime koppeling tussen een 3D model en het kostenramingssysteem bij Domera wijzigingen automatisch en foutloos doorvoeren in begrotingen en offertes?

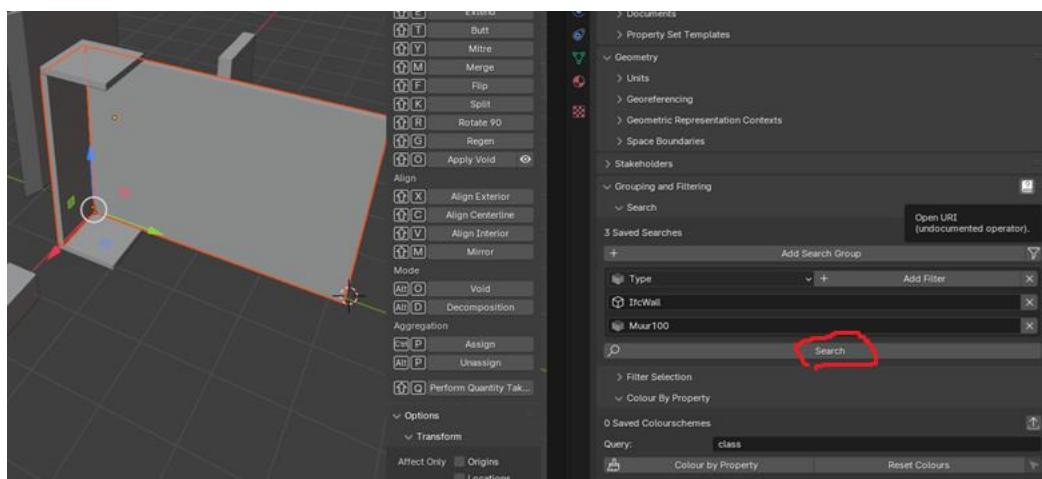
Uit het onderzoek blijkt dat er een specifiek proces moet worden doorlopen om de waarden zichtbaar te maken in het gedeelte "Costing and Scheduling" binnen Bonsai. Dit proces is van belang voor het verbeteren van de efficiëntie bij het genereren van kostenramingen en offertes, en het waarborgen van de integratie tussen het 3D-model, zoals IfcWall, en de bijbehorende begroting. De stappen die dit proces omvatten, zijn ontworpen om de nauwkeurigheid en snelheid van het calculatieproces te verbeteren. De stappen zijn als volgt:

Stap 1: Bij het aanmaken van een element, bijvoorbeeld een muur (IfcWall), moet een IfcQuantitySet worden gegenereerd. Dit kan via de functie 'Perform Quantity Take-off' (zie omcirkelde knop in figuur 7).



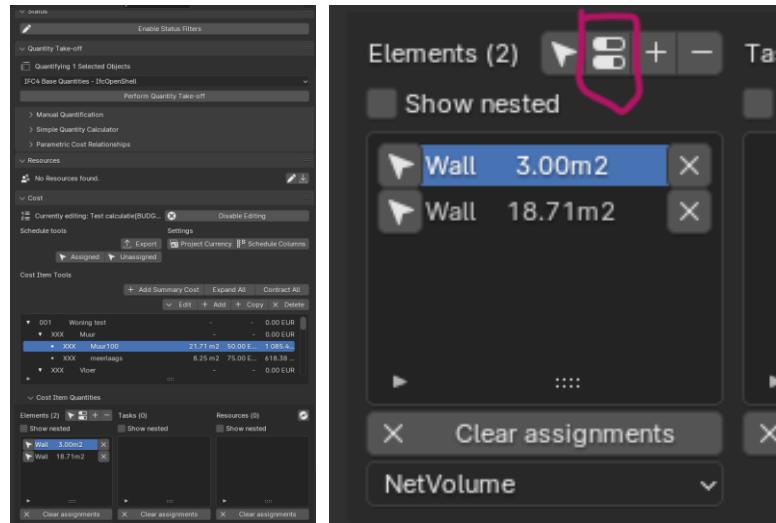
Figuur 7

Stap 2: Vervolgens moet er een groep worden aangemaakt voor het specifieke wandtype, waarna op "Search" geklikt moet worden om de groep te koppelen (zie figuur 8).



Figuur 8

Stap 3: Ten slotte moet bij "Costing and Scheduling" in het onderdeel "Cost" onder "Cost Item Quantities" opnieuw op een omcirkelde knop worden gedrukt. Deze stap is nodig om een nieuwe muur toe te voegen of wijzigingen in een bestaande muur door te voeren (zie figuur 9).



Figuur 9

Hoewel dit proces functioneel is, brengt het verschillende nadelen met zich mee. De handmatige uitvoering van deze drie stappen is foutgevoelig, vooral bij wijzigingen en leidt tot inefficiëntie. Voor een gestroomlijnde workflow is automatisering van deze stappen nodig.

Belemmeringen in het huidige proces:

- **Foutgevoeligheid:** De handmatige berekening van IfcQuantitySet vergroot de kans op inconsistenties, vooral bij wijzigingen in het model. IfcQuantitySet, zoals IfcQuantityVolume, worden niet automatisch en real-time geüpdatet bij wijzigingen in het 3D-model.
- **Gebrek aan automatisering:** Elke toevoeging van een nieuw element, zoals IfcWall, of wijziging vereist herhaling van het proces, wat tijdrovend en niet schaalbaar is. Dit staat haaks op de wens voor een efficiënte, geautomatiseerde koppeling tussen ontwerp en kostenraming.

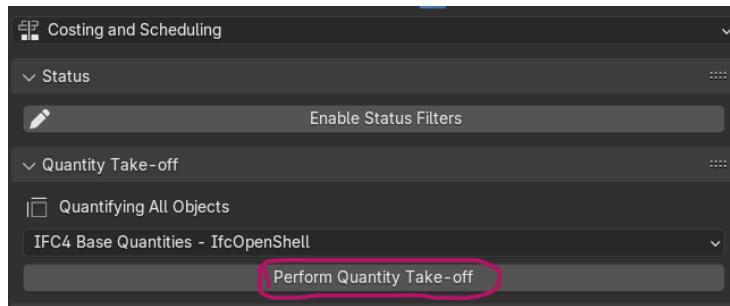
Aanbevolen oplossing

Het proces moet zodanig worden ingericht dat waarden in "Costing and Scheduling" automatisch worden gegenereerd en geüpdatet op basis van gegevens uit het BIM-model (zoals IfcWall, IfcQuantityVolume en IfcCostItem). Door deze stappen te automatiseren, wordt de kans op fouten verminderd en kan de tijd voor het doorvoeren van wijzigingen worden verkort. Een geïntegreerde aanpak waarbij elementen (zoals IfcWall) en kosten (zoals IfcCostItem) direct aan elkaar gekoppeld zijn binnen het model, biedt een werkwijze die beter aansluit bij de behoeften van de betrokken partijen.

Opmerking

Doordat het programma open source is, heeft de community dit probleem in een recente update opgelost. Hierdoor is het nu mogelijk om met één klik automatisch de hoeveelheden

te berekenen. In onderstaande figuur 10 is te zien hoe deze functionaliteit werkt, die te vinden is onder het tabblad "Costing and Scheduling" binnen Bonsai.



Figuur 10, geautomatiseerde knop

2.5.1. Van probleem naar oplossing

Tijdens het onderzoek naar de workflow binnen Bonsai zijn twee knelpunten naar voren gekomen. Allereerst kon de output van de begroting alleen worden geëxporteerd in CSV-, XLSX- of ODS-formaten. Daarnaast was het genereren van een offerte alleen mogelijk met behulp van een aanvullend script. Deze beperkingen beperkten de efficiëntie van het proces en verhoogden het risico op fouten bij de handmatige verwerking van gegevens.

Om deze uitdagingen op te lossen, is tijdens dit onderzoek een eigen add-on ontwikkeld voor Blender. Deze add-on automatiseert het proces en integreert met het bouwinformatiemodel. De drie belangrijkste functies zijn:

1. **Kostenbibliotheek inladen:** Kostengegevens kunnen direct in het model worden geïmporteerd.
2. **Begroting exporteren:** Een begroting kan worden gegenereerd in een bruikbaar formaat, zoals PDF.
3. **Offerte exporteren:** Offertes kunnen direct worden gegenereerd op basis van modelgegevens, in een bruikbaar formaat, zoals PDF.

De ontwikkeling van deze add-on vereiste een analyse van de technische beperkingen binnen Bonsai en kennis van Python-programmering. Een voorbeeld van de geschreven code is opgenomen in figuur 11. Deze illustratie laat zien hoe de add-on werkt en hoe scripts de koppeling tussen modelgegevens en de gewenste outputs realiseren.

De automatisering heeft verschillende verbeteringen gebracht:

- **Minder fouten:** Handmatige gegevensinvoer is geëlimineerd.
- **Betrouwbare gegevens:** Informatie wordt direct uit het model gehaald, wat zorgt voor consistentie resultaten.
- **Snellere processen:** Automatisering verkort de doorlooptijd en verhoogt de productiviteit.

```

1 import ifcopenshell
2 import pdfkit
3 import base64
4 import os
5 import sys
6
7 # Basispad
8 basepath = "C:/Users/rickd/.../Begroting_Gouda.ifc"
9
10 # IFC-bestandspad
11 ifc_file_path = os.path.join(basepath, "Begroting_Gouda.ifc")
12 # Laad het IFC-bestand
13 ifc_file = ifcopenshell.open(ifc_file_path)
14
15 # Voeg paden voor geimporteerde modules toe
16 code_path = os.path.join(basepath, "Code")
17
18 image_cache = {}
19
20 def encode_image_to_base64(image_path):
21     """Encoder afbeelding naar base64 voor HTML."""
22     if image_path in image_cache:
23         return image_cache[image_path]
24
25     try:
26         with open(image_path, "rb") as image_file:
27             encoded = base64.b64encode(image_file.read()).decode('utf-8')
28             image_cache[image_path] = encoded # Sla het gecodeerde resultaat op
29         return encoded
30     except FileNotFoundError:
31         return None # Als afbeelding niet bestaat, retourneer None
32
33 def generate_html_content(element_name, layer_set_description, layer_descriptions, image_path):
34     """Genereer de HTML-content voor een element met beschrijving en afbeelding."""
35     base64_image = encode_image_to_base64(image_path) if image_path else None
36
37     # Voor de beschrijving van de MaterialLayerSet zonder bullet en met nieuwe regels na punten
38     if layer_set_desc:
39         layer_set_desc_html = "<div>" + "</div><div>".join([desc.strip() for desc in layer_set_description
40     else:
41         layer_set_desc_html = ""
42

```

Figuur 11, deel geschreven script voor offerte

Tijdens de ontwikkeling zijn enkele technische beperkingen en bugs ontdekt. Deze problemen zijn gerapporteerd op het gebruikersforum van OSArch en Github, en worden onderzocht. Een overzicht van deze kwesties en de genomen stappen om ze op te lossen, is opgenomen in Bijlage 2: "Verdiepende toelichting deelvraag 3 en 5, hoofdstuk 1, paragraaf 1.2.1."

De add-on ondersteunt de visie van Domera: het optimaliseren van werkprocessen en het leveren van klantgerichte resultaten. In de volgende secties wordt dieper ingegaan op de gebruikte tabellen en scripts en hun rol in het automatiseren van begrotingen en offertes. Dit draagt bij aan efficiëntere en betrouwbaardere bouwprocessen.

2.5.2. Script 1, import van kostenbibliotheek in Bonsai

In een leeg IFC-bestand zit standaard geen kosteninformatie over bouwelementen. Het is aan de gebruiker om deze gegevens toe te voegen, wat essentieel is voor het opstellen van kostenramingen en begrotingen in de bouwsector. Een goed georganiseerde kostenbibliotheek kan hierbij helpen, maar het toevoegen van deze informatie is tijdrovend en foutgevoelig, vooral bij grote projecten met veel bouwelementen.

Om dit proces vereenvoudigen, is er een bronbestand gecreëerd in de vorm van een spreadsheet met een kostenbibliotheek. Deze bibliotheek bevat gegevens over de kosten van specifieke bouwelementen, zoals muren, vloeren en ramen. Het bestand dient als basis voor het verrijken van IFC-modellen met kosteninformatie, waardoor een gestructureerde manier van kostenbeheer mogelijk wordt. Dit stelt gebruikers in staat een kostenraming te genereren die consistent is met de projectspecificaties.

Hoewel het mogelijk is om deze gegevens handmatig in te voeren in Bonsai via de gebruikersinterface, is dit proces minder efficiënt voor grotere en complexere projecten. Handmatig invoeren kan leiden tot vertragingen en fouten, wat de betrouwbaarheid van de kostenraming beïnvloedt. Om dit te voorkomen, wordt een efficiëntere aanpak voorgesteld: het automatisch importeren van de kostenbibliotheek in het IFC-bestand. Deze methode

maakt het mogelijk om kosteninformatie snel en accuraat in het model te integreren, zonder handmatige tussenkomst. Dit versnelt de verwerking en garandeert dat de kosteninformatie consistent en foutloos wordt ingevoerd. De automatisering zorgt voor een hogere databetrouwbaarheid en biedt voordelen in termen van efficiëntie en schaalbaarheid binnen BIM-gebaseerde projecten.

In figuur 12 is een export uit Google Spreadsheet weergegeven, die een gestructureerd kostenoverzicht biedt. Dit overzicht vormt de basis voor de ontwikkeling van een geautomateerde begroting binnen de BIM-processen van Domera. De spreadsheet is opgezet volgens een hiërarchische indeling en maakt gebruik van de NL-SfB-classificatie, een systematiek die veelvuldig wordt toegepast in de bouwsector om bouwelementen te classificeren. Deze indeling zorgt ervoor dat kosteninformatie logisch en uniform wordt vastgelegd, wat de integratie met andere BIM-gegevens vergemakkelijkt.

Voor een gedetailleerde beschrijving van het volledige proces wordt verwezen naar bijlage 2, "Verdiepende toelichting deelvraag 3 en 5, hoofdstuk 1, paragraaf 1.2.3", waar het proces van het automatisch importeren van kosteninformatie in IFC-modellen verder wordt toegelicht. Deze methode biedt een oplossing voor de problemen die vaak gepaard gaan met het handmatig invoeren van kosten in BIM-software en is een stap naar efficiënter projectbeheer.

Hierarchy	Identification	Name	Quantity	Unit	Rate	Contract Rate	Material Rate	Labor Rate	Subtotal	Total Price	Property	Query
NL-SfB		Engineering en bouw										
1 TOTAAL		Totale bouwkosten										
2 B1A		Fundering										
3 B1A(11)		Bodemvoorzieningen										
3 B1A(13)		Vloeren op grondslag										
3 B1A(16)		Funderingsconstructies										
4 B1A(16.05)		Betonasco										
5 B1A(16.05.05)		Drijflichaam ... m x ... m x ... m (bxbh)										
3 B1A(17)		Paalfunderingen										
3 B1A(AG)		AG fundering										
2 B1B		Skelet										
3 B1B(21)		Buitenvanden (skelet)										
4 B1B(21.05)		HSB wand 38x89 mm										
5 B1B(21.05.05)		Gelimpregneerde rachel 18x45 mm										
5 B1B(21.05.10)		SLS 38x89 mm										
5 B1B(21.05.15)		Bevestigingsmiddelen										
5 B1B(21.05.20)		Aanbod										
4 B1B(21.19)		HSB wand 38x121 mm										
5 B1B(21.19.05)		Gelimpregneerde rachel 18x45 mm										
5 B1B(21.19.10)		Dampenpen waterkerende folie										
5 B1B(21.19.15)		SLS 38x120 mm										
5 B1B(21.19.20)		PIR 2-zijdig aluminium, D 120 mm, Rd 5,45										
5 B1B(21.19.25)		OSB-3, 1220x2440 mm, D 9 mm										
5 B1B(21.19.30)		Dempdichte folie, Sd-waarde ong. 100m										
5 B1B(21.19.35)		Gipsvezelplaat, D 12,5 mm										
5 B1B(21.19.40)		Bevestigingsmiddelen										
5 B1B(21.19.45)		Aanbod										
4 B1B(21.15)		HSB wand 38x184 mm										
5 B1B(21.15.05)		Gelimpregneerde rachel 28x45 mm										
5 B1B(21.15.10)		Dampenpen waterkerende folie										

Figuur 12, gedeelte van spreadsheet

Figuur 12 toont een gedeelte van de spreadsheet die ter ondersteuning van de volledige uitwerking dient. Deze spreadsheet is te raadplegen in bijlage 3, "Test begroting - Cost_schedule".

Werking in hoofdlijnen

- **Hierarchy Identification:** Biedt een hiërarchische structuur voor bouwdelen, zoals "B1A" voor funderingen en "B1A(11)" voor bodemvoorzieningen. Dit helpt de bouwonderdelen systematisch te categoriseren;
- **Name:** Vermeldt de naam van het bouwdeel of projectonderdeel, zoals "Fundering" of "Bodemvoorziening". Dit maakt het duidelijk welk onderdeel van het project wordt beschreven;
- **Quantity en Unit:** Specificeren de hoeveelheden en eenheden, zoals "m²" voor oppervlakte of "stuks" voor objecten. Dit biedt een duidelijke kwantificering van de benodigde materialen;

- **Rate:** Vermeldt de kosten per eenheid, opgesplitst in Material Rate, Labor Rate en eventueel Contract Rate. Dit maakt het mogelijk om de kosten per onderdeel nauwkeurig te berekenen;
- **Subtotal en Total Price:** Berekenen de kosten per bouwdeel en de totale kosten voor het project. Dit zorgt voor een overzicht van de verwachte uitgaven.

Belangrijke functies

- **Systematische kostentoewijzing:** Door de structuur van het bestand kunnen kosten direct gekoppeld worden aan specifieke bouwonderdelen. Dit biedt inzicht in welke onderdelen het meeste kosten genereren en waar besparingen mogelijk zijn;
- **Realtime koppeling met BIM-model:** De gegevens kunnen eenvoudig worden gekoppeld aan een BIM-model, wat het mogelijk maakt om wijzigingen in het model automatisch door te voeren in de begroting of offerte.

Praktische toepassingen

- **Realtime begrotingen voor Domera:** De tabel kan worden gebruikt om de kosten van bouwonderdelen snel te berekenen. Wanneer er wijzigingen plaatsvinden in het BIM-model, worden deze automatisch doorgevoerd in de kostenberekening. Dit zorgt voor een efficiënt en actueel overzicht van de projectkosten;
- **Efficiëntie in offertegeneratie:** Voor Domera kan dit systeem automatisch begrotingen genereren die zijn gekoppeld aan het BIM-model, waardoor de tijd voor het opstellen van offertes aanzienlijk wordt verkort.

Voordelen

- **Bronbestand:** Een centraal bestand waarin alle kosteninformatie wordt beheerd, wat de consistentie en actualiteit van de kostenbewaking waarborgt;
- **Efficiëntie:** De systematische aanpak versnelt de opzet en verwerking van begrotingen en offertes, wat tijdsvermindering oplevert;
- **Transparantie:** Door gebruik te maken van classificaties zoals NL-SfB, kunnen kosten helder worden gesorteerd en eenvoudig worden nagegaan;
- **Automatisering:** Het proces is volledig geautomatiseerd, waardoor wijzigingen in het BIM-model direct doorwerken in de kostenberekening, wat de nauwkeurigheid en snelheid verhoogt.

Nadelen

- **Afhankelijkheid van het BIM-model:** Het systeem is sterk afhankelijk van de juistheid en volledigheid van het BIM-model. Fouten in het model kunnen de kostenberekeningen beïnvloeden;
- **Complexiteit bij maatwerk:** Het toepassen van deze structuur kan ingewikkeld zijn voor projecten die veel maatwerk vereisen, zoals bijzondere of complexe bouwonderdelen.

2.5.3. Script 2, export van offerte in Bonsai

Het script combineert gegevens uit een bouwinformatiemodel (IFC-bestand) met afbeeldingen en tekstuele beschrijvingen om een HTML-document te genereren. Dit document wordt omgezet naar een PDF-bestand, dat als offerte wordt gebruikt. Figuur 13 toont een voorbeeld van een deel van de gegenereerde offerte. Een uitgebreide toelichting op het proces is opgenomen in bijlage 2, "Verdiepende toelichting deelvraag 3 en 5, hoofdstuk 1, paragraaf 1.2.3.1".

Offerte voor Waterwoning		
Naam: Naar: Mart Adres: Adres klant Postcode en plaats: Postcode+Plaatsnaam		
Betreft: Offerte waterwoning Datum: 2024-10-23 Offerte nummer: 12345		
Technische specificaties		
De constructie bestaat uit CLT. De gevelbekleding bestaat uit hout. Aluminium kozijnen, bitumen dakbedekking en EPS-isolatie zijn onderdeel van het project.		
Bouwwerf voorzieningen		
Helling	<ul style="list-style-type: none"> Zitdagen Hellingen Ligdagen 	
Bouwplaats	<ul style="list-style-type: none"> Afvoeren van het bouw- en sloophafel door de aannemer Betonbak hellingen op de scheepswerv bij Domera bij gereed Plaatsen van stalen steiger rondom de gehele woning Gebruik van bouwstromen en water voor rekening aannemer Gebruik van bouwstromen en water op locatie voor rekening opdrachtgever 	
Afval scheiding	<ul style="list-style-type: none"> Plastic Kunststof Hout Stein Isolatie Aluminium Staal Restafval 	
Stroom	<ul style="list-style-type: none"> Benedigde energie dat nodig is bij het bouwen van de woning wordt mbv Hollandse groene stroom opgewekt 	
Algemeen		
Rc waarden (minimaal)	<ul style="list-style-type: none"> Voor vloeren: 3.7 m2kW Voor gevels: 4.7 m2kW Voor daken: 6.3 m2kW 	

Figuur 13, gedeelte van offerte

Figuur 13 toont een deel van de offerte ter ondersteuning van de uitwerking. De volledige offerte is opgenomen in bijlage 4, "offerte".

Werking in hoofdlijnen

- **Inlezen van het IFC-bestand:** Het script opent een specifiek IFC-bestand, zoals "Begroting_Gouda.ifc". Dit bestand bevat bouwinformatie over elementen zoals muren, ramen en deuren. IFC-bestanden vormen de basis voor verdere verwerking;
- **Genereren van HTML-inhoud:** Het script gebruikt de gegevens uit het IFC-model om HTML-code te maken, inclusief afbeeldingen van bouwonderdelen. Deze afbeeldingen worden omgezet zodat ze direct in het HTML-bestand kunnen worden opgenomen;
- **Exporteren naar PDF:** Het gegenereerde HTML-bestand wordt omgezet naar een PDF. Dit document kan direct worden gebruikt als offerte.

Belangrijke functies

- **Afbeeldingen verwerken:** Het script zet afbeeldingen om naar Base64-code, zodat ze in het HTML-document worden opgenomen. Dit voorkomt losse bestanden en maakt het document eenvoudig te delen;
- **HTML generatie:** Het script bouwt de offerte inhoud op, inclusief titels, beschrijvingen van bouwdelen en afbeeldingen.

Praktische toepassingen

Met dit script kan een offerte worden gegenereerd op basis van een 3D-model. Zodra het model is voltooid en de gegevens zijn ingevoerd, kan een complete offerte worden samengesteld, inclusief kostenoverzicht, beschrijvingen en afbeeldingen.

Voordelen

- **Tijdsinst:** Het opstellen van een offerte gaat sneller doordat handmatige stappen zijn geautomatiseerd;
- **Consistentie:** Het gebruik van gegevens uit het IFC-model verkleint de kans op fouten;
- **Professionele uitstraling:** De PDF's zijn direct klaar voor gebruik.

Nadelen

- **Complexiteit bij aanpassingen:** Het aanpassen van het script voor andere projecten of specifieke wensen vereist technische kennis en tijd;
- **Beperkte flexibiliteit:** Het script is minder geschikt voor complexe projecten die veel maatwerk vereisen;
- **Base64 afbeeldingen:** Base64 kan de bestandsgrootte vergroten, wat problemen kan veroorzaken bij projecten met veel afbeeldingen.

2.5.4. Script 3, export van begroting in Bonsai

Het automatiseren van bouwkostenramingen is een stap in het optimaliseren van processen binnen de bouwsector. Dit script laat zien hoe IFC-bestanden gebruikt kunnen worden om gegevens, zoals arbeidskosten, te extraheren en deze om te zetten naar een PDF. Het script maakt gebruik van verschillende Python-modules om de benodigde gegevens te verwerken en een rapport te genereren. Figuur 14 toont dit proces, met een voorbeeld van de gegenereerde begroting. Voor een gedetailleerde beschrijving van het volledige proces wordt verwezen naar bijlage 2, "Verdiepende toelichting deelvraag 3 en 5, hoofdstuk 1, paragraaf 1.2.3.2".

Begroting voor Waterwoning						
Naam: Naam kant Omschrijving: Nieuwbouw woonboot straatnaam + plaatstraat Betref: Begroting waterwoning Datum: 2024-10-23 Begroting nummer: 12345						
HstParNr	Omschrijving	Aantal	Eenheid	Prijs	Subtotaal	Totaal
TOTAAL	Totale bouwkosten					
B1A	Fundering					
B1A(11)	Bodemvoorzieningen					
B1A(13)	Vloeren op grondslag					
B1A(18)	Funderingsconstructies					
B1A(16.05)	Betoncassoos					
B1A(16.05.05)	Drijfchaam ... m x ... m x ... m (lxbxh)	28.85	m³	€1.194,73	€32.072,90	
B1A(17)	Pastikanderingen					
B1A(AG)	AG fundering					
B1B	Skelet					
B1B(21)	Buitewanden (skelet)					
B1B(21.05)	HSB wand 38x89 mm					
B1B(21.05.05)	Geimpregneerde rachel 18x45 mm	31.80	m²	€2.64	€83.96	
B1B(21.05.10)	SLS 38x89 mm	31.80	m²	€4,47	€142,15	
B1B(21.05.15)	Bevestigingsmiddelen	31.80	m²	€1,19	€37,95	
B1B(21.05.20)	Arbeid	1	stuk(s)			
B1B(21.10)	HSB wand 38x121 mm					
B1B(21.10.05)	Geimpregneerde rachel 18x45 mm	17.94	m²	€2.64	€47.35	
B1B(21.10.10)	Dampopen waterkerende folie	17.94	m²	€4,62	€82.86	
B1B(21.10.15)	SLS 38x120 mm	17.94	m²	€9,03	€108,15	
B1B(21.10.20)	PR 2-zaidig aluminium, D 120 mm, Rd 5,45	17.94	m²	€19,92	€339,35	
B1B(21.10.25)	OSB-3, 1220x2440 mm, D 9 mm	17.94	m²	€3,70	€66,36	
B1B(21.10.30)	Dampdichte folie, Sd-waarde ong. 100m	17.94	m²	€1,19	€21,34	
B1B(21.10.35)	Gipsvezelplaat, D 12,5 mm	17.94	m²	€3,30	€59,19	
B1B(21.10.40)	Bevestigingsmiddelen	17.94	m²	€1,19	€21,40	
B1B(21.10.45)	Arbeid	1	stuk(s)			
B1B(21.15)	HSB wand 38x184 mm					
B1B(21.15.05)	Geimpregneerde rachel 28x45 mm	130.08	m²	€3,21	€417,56	
B1B(21.15.10)	Dampopen waterkerende folie	89.78	m²	€4,62	€414,79	
B1B(21.15.15)	SLS 38x184 mm	130.08	m²	€9,27	€1.205,85	

Figuur 14, gedeelte van begroting

Figuur 14 toont een gedeelte van de begroting die wordt gebruikt ter ondersteuning van de volledige uitwerking. Deze begroting is beschikbaar in bijlage 5, "Begroting".

Werking in hoofdlijnen

- **IFC-bestand laden:** Het script opent een specifiek IFC-bestand met de bouwinformatie;
- **Informatie extraheren:** Het script zoekt naar gegevens over werkuren (bijvoorbeeld IfcResourceTime) en zet deze om naar kosten op basis van een uurtarief;
- **HTML genereren:** De gegevens worden omgezet in een HTML-document, dat als basis dient voor de PDF;
- **PDF exporteren:** Het HTML-document wordt geëxporteerd naar een PDF-bestand, dat vervolgens gedeeld of opgeslagen kan worden.

Belangrijke functies

- **extract_resource_time:** Deze functie zoekt naar werkuren en berekent de totale kosten op basis van een vast uurtarief. Uren worden verwerkt in een specifiek formaat en omgezet naar kosten in euro's;
- **PDF generatie:** Met de module PDFkit wordt het HTML-document omgezet naar een PDF, wat resulteert in een professioneel eindresultaat.

Praktische toepassingen

Dit script is geschikt voor kleine tot middelgrote bouwprojecten waar snelle en betrouwbare kostenramingen vereist zijn. Het kan bijvoorbeeld gebruikt worden voor het voorbereiden van offertes of het verstrekken van rapportages aan klanten.

Voordelen

- **Efficiëntie:** Het script automatiseert een proces dat anders handmatig veel tijd zou vergen;
- **Consistentie:** Door het gebruik van standaard uurtarieven en uniforme verwerkingsmethoden zijn de resultaten betrouwbaar en consistent;
- **Integratie met BIM:** Het script werkt direct met IFC-bestanden, waardoor het naadloos aansluit op moderne BIM-workflows.

Nadelen

- **Beperkte flexibiliteit:** Het script werkt met vaste tarieven en een specifiek formaat voor werkuren, wat problematisch kan zijn voor afwijkende projecten;
- **Technische vereisten:** Het gebruik van het script vereist enige kennis van Python en BIM-software zoals IfcOpenShell;
- **Onderhoud:** Bij wijzigingen in de structuur van de IFC-bestanden zal het script aangepast moeten worden.

2.5.5. Tijdsvermindering door automatisering van begrotingen en offertes

De traditionele methode voor het opstellen van een begroting en offerte kost momenteel gemiddeld tussen de halve en driekwart dag. Dit is het geval, zelfs wanneer er wijzigingen optreden, aangezien bepaalde onderdelen van de begroting direct met elkaar in verband staan. Het verwerken van wijzigingen kan daardoor tot een halve dag werk vereisen, vooral wanneer deze de onderlinge verhoudingen van de kosten beïnvloeden.

Met de introductie van Bonsai, een nieuw BIM-programma, is het genereren van een 3D-model momenteel tijdsintensiever. Het modelleren van een woning met Bonsai neemt, vanwege de benodigde leercurve, nu gemiddeld twee tot drie dagen in beslag. Deze tijd wordt voornamelijk besteed aan het onder de knie krijgen van de functionaliteiten van het programma en het optimaliseren van de workflow.

Hoewel dit proces momenteel meer tijd kost dan de traditionele methoden, biedt het op de lange termijn tijdsvermindering. Zodra gebruikers van Bonsai vertrouwd zijn met het programma, kan het proces sneller verlopen. Het modelleren van een woning kan in de toekomst binnen één dag worden voltooid en wijzigingen – die nu nog tot een halve dag werk vereisen – kunnen dan vrijwel direct en foutloos worden doorgevoerd. Bovendien zal het voordeel van deze aanpak zijn dat tegelijkertijd de begroting en offerte automatisch worden bijgewerkt, waardoor de totale tijd voor het proces, inclusief wijzigingen, in de toekomst niet meer dan 1,25 dag zal bedragen.

Deze verbeteringen zouden moeten leiden tot een tijdsvermindering van maximaal 40%, zoals aanvankelijk voorspeld, zodra het systeem volledig functioneert.

2.5.6. Deelconclusie

Uit het onderzoek blijkt dat het proces voor het genereren van kostenramingen en offertes binnen Bonsai kan worden verbeterd door automatisering. Het huidige handmatige proces, waarbij IfcQuantitySet worden aangemaakt, elementen zoals IfcWall aan kostengroepen worden gekoppeld en de kosten in "Costing and Scheduling" handmatig worden geüpdatet, is tijdrovend en foutgevoelig. Deze inefficiënties kunnen leiden tot inconsistenties, vooral bij wijzigingen in het 3D-model, wat de snelheid en nauwkeurigheid van de calculatie beïnvloedt.

De voorgestelde oplossing, die het mogelijk maakt om waarden automatisch te genereren en te updaten op basis van de gegevens in het BIM-model, biedt een verbetering. Door de automatisering van dit proces kunnen fouten worden geminimaliseerd, wijzigingen sneller worden doorgevoerd en kan er efficiënter worden gewerkt. De recente update in het open source-programma, die het mogelijk maakt om met één klik hoeveelheden automatisch te berekenen, sluit aan bij deze visie van efficiëntie en databetrouwbaarheid.

Daarnaast heeft het onderzoek geleid tot de ontwikkeling van een add-on voor Blender, die het proces van kostenramingen en offertegeneratie verder optimaliseert. Deze add-on automatisiert de import van kosteninformatie, het genereren van begrotingen in verschillende formaten, zoals PDF en het creëren van offertes, wat resulteert in sneller en foutloze werk. De automatisering heeft bijgedragen aan een hogere betrouwbaarheid van de gegevens en kortere doorlooptijden, wat de productiviteit bevordert.

Tot slot biedt de implementatie van een geautomatiseerde kostenbibliotheek, in combinatie met de koppeling tussen modelgegevens en kostenberekeningen, voordelen voor de bouwsector. Deze voordelen omvatten efficiënter projectbeheer, grotere schaalbaarheid en meer transparantie. De toepassing van deze methodieken binnen de werkprocessen van Domera, zoals blijkt uit de concrete voorbeelden, draagt bij aan de optimalisatie van de bedrijfsvoering en het behalen van klantgerichte resultaten.

3. Conclusie

In dit onderzoek is gezocht naar een antwoord op de vraag: “*In hoeverre kan het IFC-bestandsformaat in combinatie met Bonsai gebruikt worden voor kostenramingen die geïntegreerd zijn in een 3D model bij Domera?*” Hiervoor is een combinatie van literatuuronderzoek, praktijkexperimenten en analyses uitgevoerd naar de mogelijkheden en beperkingen van IFC en Bonsai binnen het bouwproces van drijvende woningen.

Uit de resultaten van dit onderzoek is gebleken dat het IFC-bestandsformaat, met name versie IFC4x3, zeer geschikt is voor het automatiseren van kostenramingen en offertes. Deze versie biedt uitgebreide mogelijkheden voor het structureren van gegevens en verbetert de integratie met BIM-processen. Bonsai speelt hierbij een belangrijke rol als native IFC-modeller, door directe koppelingen tussen het 3D-model en de bijbehorende kostengegevens te bieden. Dit vermindert de kans op fouten en verhoogt de efficiëntie. Het direct modelleren in Bonsai zorgt daarnaast voor een hogere dataconsistentie dan het importeren van externe modellen.

De analyse van classificatiesystemen heeft aangetoond dat de NL-SfB-methode beter aansluit bij de klantgerichte werkprocessen van Domera dan de STABU-standaard. NL-SfB biedt meer flexibiliteit en ondersteunt geautomatiseerde calculaties beter, wat de efficiëntie van het calculatieproces bevordert.

Hoewel de automatisering veel potentie biedt, blijkt het proces van modelleren in Bonsai op dit moment nog tijdsintensiever dan traditionele methoden. Het werken met de software vereist een steile leercurve, maar op termijn kan dit leiden tot een tijdsbesparing van maximaal 40%, vooral door de mogelijkheid om wijzigingen realtime en foutloos door te voeren.

Uit dit onderzoek is gebleken dat de combinatie van IFC4x3 en Bonsai een solide basis biedt voor het automatiseren van kostenramingen en offertes bij Domera. Door te investeren in training en verdere optimalisatie van de software kan Domera haar processen efficiënter inrichten, nauwkeurigere calculaties leveren en haar concurrentiepositie versterken, met name binnen de nichemarkt van drijvende woningen.

4. Discussie

Voor dit onderzoek is de focus gelegd op de automatisering van kostenramingen en offertes voor drijvende woningen, met behulp van de open-source BIM-tool Bonsai in combinatie met het IFC-bestandsformaat. Het doel was om inzicht te verkrijgen in de mogelijkheden en beperkingen van het gebruik van deze technologieën om bouwkosten en offertes efficiënter te genereren. De validiteit van dit onderzoek werd versterkt door een gedegen literatuurstudie, praktijkexperimenten en functionele analyses, waarbij Bonsai en IFC4x3 als fundamenten dienden voor de automatisering van de processen.

Uit de resultaten blijkt dat de keuze voor Bonsai en IFC4x3 een solide basis biedt voor het automatiseren van de kostenramingen en offertes. De gebruikte methode zorgde ervoor dat gegevens consistent en foutloos werden verwerkt, wat de betrouwbaarheid van de resultaten vergrootte. De koppeling van de gegevens aan het 3D-model in realtime bleek bijzonder effectief en leidde tot aanzienlijke tijdsvermindering in het proces. Dit sluit aan bij de verwachting dat de automatisering via Bonsai zou bijdragen aan een efficiënter werkproces. Een onverwacht inzicht was echter dat direct modelleren in Bonsai betrouwbaarder is dan het importeren van externe modellen, wat het belang van een goed gestructureerd en consistent model onderstreept.

Hoewel de resultaten veelbelovend zijn, zijn er enkele beperkingen die de generaliseerbaarheid van de bevindingen beïnvloeden. De beperkte dataset en het testgebied beperken de externe validiteit van de studie, waardoor de toepassing van de bevindingen op grotere projecten of andere bouwtypen nog niet bewezen is. Dit vormt een belangrijk aandachtspunt voor toekomstig onderzoek. Het gebruik van Bonsai bracht ook technische beperkingen met zich mee, zoals de aanzienlijke leercurve die het initiële gebruik inefficiënt maakt. De afhankelijkheid van de juiste invoerdata vormt een ander risico voor de nauwkeurigheid van de resultaten, wat wijst op de noodzaak van zorgvuldige gegevensvalidatie.

Ondanks deze beperkingen biedt het onderzoek waardevolle inzichten voor de praktijk, met name voor Domera. De implementatie van automatisering in kostenramingen en offertes kan leiden tot significante voordelen, zoals tijdsvermindering, minder fouten en een verbeterde klanttevredenheid. Door de toepassing van open-source tools wordt bovendien een duurzame en transparante aanpak in de bouwsector bevorderd. De resultaten wijzen erop dat non-profitorganisaties in de bouwsector baat kunnen hebben bij de inzet van dergelijke technologieën, vooral in kleinschalige projecten zoals de bouw van drijvende woningen.

Voor toekomstig onderzoek wordt aanbevolen om de schaalbaarheid van de methodiek te testen op grotere en complexere projecten. Verder onderzoek kan ook gericht zijn op de integratie van Bonsai met andere BIM-tools, wat de efficiëntie verder zou kunnen verbeteren. Daarnaast zou er gekeken moeten worden naar manieren om de leercurve te verkorten en de gebruiksvriendelijkheid van Bonsai te verhogen, zodat de technologie breder toepasbaar wordt. Tenslotte is het van belang dat vervolgonderzoek zich richt op het waarborgen van de kwaliteit van de invoerdata in IFC-modellen, aangezien dit essentieel is voor de nauwkeurigheid van de resultaten.



5. Aanbevelingen

Op basis van de geschatste vraagstukken wordt aanbevolen om vervolgonderzoek te richten op de volgende thema's, die breed toepasbaar zijn binnen verschillende bouwprojecten en sectoren:

1. **Importeren versus zelf modelleren:** Het wordt aanbevolen om binnen Bonsai directe modellering te overwegen als methode voor het creëren van 3D-modellen. Hoewel deze aanpak meer tijd kan vergen, biedt het meer controle over de data, wat belangrijk is voor toepassingen zoals geautomatiseerde kostenramingen en offertegeneratie. Tegelijkertijd is het waardevol om het importproces verder te onderzoeken en te verbeteren. Door beide benaderingen te combineren, kan de flexibiliteit en betrouwbaarheid van het systeem op de lange termijn worden vergroot.
2. **Scope beperken tot kernaspecten automatisering en realtime koppeling:** Het wordt aanbevolen de scope te beperken tot de kernaspecten van automatisering en de realtime koppeling tussen het 3D-model en de begroting/offerte. Dit maakt het mogelijk om een gerichte focus te behouden en de belangrijkste functies uit te werken, zoals de verbetering van werkprocessen en de reductie van fouten. Breder gerichte onderwerpen, zoals classificaties of de ontwikkeling van een kostprijsbibliotheek, kunnen benoemd worden als randvoorwaarden, maar mogen de hoofdthema's niet overschaduwen.
3. **Gebruik van referentiedata uit eerdere projecten:** Het gebruik van referentiedata, zoals kostprijsgegevens uit eerdere projecten, wordt aanbevolen om de resultaten van toekomstig onderzoek te versterken. Deze gegevens kunnen dienen om de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van nieuwe methoden te toetsen en te vergelijken met bestaande processen. Het is belangrijk dat deze referenties representatief en actueel zijn. Dit kan waardevolle inzichten bieden in de verbetering van kostenramingen en de validiteit van nieuwe benaderingen onderbouwen.

De bovenstaande aanbevelingen vormen een basis voor toekomstig onderzoek naar de verdere ontwikkeling en toepassing van automatisering binnen BIM-processen. Door te focussen op betrouwbare modellering, het beperken van de scope tot de kernfunctionaliteiten en het benutten van referentiedata, kunnen efficiëntere werkmethoden worden ontwikkeld die breed inzetbaar zijn in verschillende bouwprojecten. Deze aanpak draagt bij aan nauwkeurigere kostenramingen en offertes en versterkt de betrouwbaarheid, flexibiliteit en transparantie van bouwprocessen. Dit maakt het mogelijk oplossingen te realiseren die inspelen op de behoeften van de sector en haar opdrachtgevers.

Literatuurlijst

5.1 IFcKernel - IFC 4.3.2 documentation. (z.d.). <https://ifc43-docs.standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4x3/HTML/ifckernel/content.html>

5.3 IFCProcessExtension - IFC 4.3.2 Documentation. (z.d.). <https://ifc43-docs.standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4x3/HTML/ifcprocessextension/content.html>

5.4 IFCProductExtension - IFC 4.3.2 documentation. (z.d.). <https://ifc43-docs.standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4x3/HTML/ifcproductextension/content.html>

6.1 IFCSharedBldgElements - IFC 4.3.2 documentation. (z.d.). <https://ifc43-docs.standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4x3/HTML/ifcsharedbldgelements/content.html>

6.5 IFCSharedMGMTElements - IFC 4.3.2 documentation. (z.d.). <https://ifc43-docs.standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4x3/HTML/ifcsharedmgmtelements/content.html>

8.4 IFCCostResource - IFC 4.3.2 documentation. (z.d.). <https://ifc43-docs.standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4x3/HTML/ifccostresource/content.html>

8.5 IFCDateTimeResource - IFC 4.3.2 documentation. (z.d.). <https://ifc43-docs.standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4x3/HTML/ifcdatetimeresource/content.html>

BIM en elementenbegroting, een ideale combinatie. (z.d.). <https://www.ibis.nl/beta/bim-en-elementenbegroting>

Blender BIM hide isolating in context with Python. (2021).
<https://community.osarch.org/discussion/767/blender-bim-hide-isolating-in-context-with-python>

Blender Foundation. (z.d.). Bonsai. Blender Extensions. <https://extensions.blender.org/add-ons/bonsai/>

CcO-Photographers. (z.d.). Gratis Afbeeldingen: aantal, geld, bedrijf, dichtbij, merk, doopvont, bank, illustratie, ontwerp, tekst, euro, schuld, munt, besparen, rekenmachine, munten, financiën, datailaufnahme, begroting, effectenbeurs, bankbiljet, dollarbiljet, macro foto 3000x2000. Pxhere. <https://pxhere.com/nl/photo/1021973>

ChatGPT. (z.d.). <https://chatgpt.com/>

How to export model from Revit to IFC file format with quantities. (z.d.).
<https://www.autodesk.com/support/technical/article/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/How-to-export-model-from-Revit-to-IFC-export-with-quantities.html>

IFC 4.3.2 documentation. (z.d.-a). <https://ifc43-docs.standards.buildingsmart.org/>

IFC 4.3.2 documentation. (z.d.-b). <https://ifc43-docs.standards.buildingsmart.org/>

IfcOpenShell 0.8.0 documentation. (z.d.-a). <https://docs.ifcopenshell.org/index.html>

IfcOpenShell 0.8.0 documentation. (z.d.-b). <https://docs.ifcopenshell.org/>

Introduction - IFC 4.3.2 documentation. (z.d.). <https://ifc43-docs.standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4x3/HTML/content/introduction.htm>

Introduction to BIM - Bonsai 0.8.0 documentation. (z.d.).

https://docs.bonsaibim.org/quickstart/introduction_to_bim.html

Ketenstandaard Bouw en Techniek. (2024a, juni 18). NL-SFB Facts - Ketenstandaard Bouw en techniek. <https://ketenstandaard.nl/nl-sfb-facts/>

Ketenstandaard Bouw en Techniek. (2024b, juni 18). STABU Facts - Ketenstandaard Bouw en techniek. <https://ketenstandaard.nl/stabu-facts/>

NEN 2699:2017 nl. (z.d.). <https://www.nen.nl/en/nen-2699-2017-nl-230945>

Over Domera – domera. (z.d.). <https://domera.nl/over-domera/>

Stanton, A. (2024, 26 september). Exploring the World of 3D Modeling: Solid vs. Mesh Modeling. Solid vs. Mesh Modeling. <https://cadmore.com/blog/solid-vs-mesh-modeling-differences>

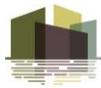
Start Page of IFC2x3 Final Documentation. (z.d.).

https://iaiweb.lbl.gov/Resources/IFC_Releases/R2x3_final/

W3Schools.com. (z.d.-a). <https://www.w3schools.com/>

W3Schools.com. (z.d.-b). <https://www.w3schools.com/html/default.asp>

Woordpoort help. (z.d.). <https://woordpoort-help.bouwconnect.nl/help/1/11/113/>



Bijlagen

- **Bijlage 1:** Literatuurstudie
- **Bijlage 2:** Verdiepende toelichting deelvraag 3 en 5
- **Bijlage 3:** Test begroting - Cost_schedule
- **Bijlage 4:** Offerte
- **Bijlage 5:** Begroting
- **Bijlage 6:** Code_HTML script voor offerte met PDF export in PDF
- **Bijlage 7:** Code_HTML script voor begroting met PDF export in PDF