



**Optimalisatie en automatisatie van het gebruik
van puntenwolken in de bouwsector:
vergelijgingssoftware, objectherkenning en
volumeberekeningen voor BIM-processen**

Jordi Thys

Academiejaar 2024 - 2025

Promotor: Jarne Bams

Promotor PXL: Sofie Massonnet

Onderzoekslector: Els Guns

Inhoudsopgave

I. Voorwoord	4
II. Deel 1: Probleemstelling	5
1. Contextstudie	5
1.1 Achtergrond en bronnen	5
2. Projectdefinitie	8
2.1 Doel en afbakening	8
2.2 Succescriteria	9
2.3 Eindresultaat	10
3. Project Canvas	11
III. Deel 2: Oplossing en Reflectie	12
1. Proces	12
1.1 Na tussentijdse jury en mondelinge bevraging	12
1.2 Na terugkommoment 1	14
1.3 Na terugkommoment 2	17
1.4 Na terugkommoment 3	20
2. Product	21
2.1 Product	21
2.2 Beschrijving product	21
3. Abstract	23
Optimalisatie en automatisatie van het gebruik van puntenwolken in de bouwsector: vergelijkingssoftware, objectherkenning en volumeberekeningen voor BIM-processen	23
4. Reflectie	24
4.1 Succescriteria aftoetsen aan gerealiseerd eindproduct	24
4.2 Toetsen van het product aan de sector: wat is de meerwaarde van je onderzoek?	32
4.3 SDG's aftoetsen	33
4.4 Reflectie over proces bachelorproef	35
IV. Bronnen en figuren	38
1. Bronnenlijst	38
2. Figurenlijst	39
V. Bijlagen	39

I. Voorwoord

Deze bachelorproef onderzoekt hoe het gebruik van puntenwolken in de bouwsector verder geoptimaliseerd kan worden. Het onderzoek is ontstaan vanuit mijn stage bij Group Jansen, waar ik me heb gericht op de toepassingen van deze technologie binnen de BIM-afdeling. Puntenwolken bieden een gedetailleerde weergave van bestaande en/of nieuwe situaties, maar er is nog veel potentieel om het gebruik ervan te verbeteren, zowel op het gebied van efficiëntie als nauwkeurigheid.

Ik wil graag mijn promotor bij Group Jansen, Jarne Bams, bedanken voor zijn begeleiding en steun gedurende dit onderzoek. Een speciale dank gaat ook uit naar Jeroen Ceyssens, die zijn expertise en waardevolle inzichten heeft gedeeld en mij heeft geholpen bij het uitvoeren van mijn onderzoek. Bovendien wil ik alle andere werknemers bij Group Jansen bedanken voor de nuttige informatie die zij mij hebben aangereikt tijdens mijn stage, wat een waardevolle bijdrage heeft geleverd aan dit onderzoek.

Daarnaast wil ik mijn promotor aan PXL, Sofie Massonnet, bedanken voor haar kritische blik en waardevolle feedback. Ook ben ik mijn onderzoekslector, Els Guns, dankbaar voor haar inzichten en ondersteuning tijdens dit proces. Zonder hun begeleiding en expertise was dit werk niet tot stand gekomen.

Jordi Thys

II. Deel 1: Probleemstelling

1. Contextstudie

1.1 Achtergrond en bronnen

Toelichting van het thema

De bouwsector maakt de afgelopen jaren steeds vaker gebruik van technologieën zoals Building Information Modelling (BIM). BIM is een geïntegreerde procesbenadering voor het ontwerpen, bouwen en beheren van gebouwen met behulp van een digitale representatie van de fysieke en functionele kenmerken van een gebouw [1]. Recent onderzoek [2] toont aan dat in Europa 45% van de architecten BIM gebruikt, wat wijst op de groeiende acceptatie en het belang ervan.

Een belangrijk onderdeel van BIM is het gebruik van puntenwolken. Een puntenwolk is een verzameling van driedimensionale coördinaten die een object of omgeving in de ruimte representeren. Elk punt in de wolk staat voor een specifieke locatie op het oppervlak van het gescande object. Door deze punten samen te brengen, ontstaat er een realistische 3D-weergave van de structuur [3]. Puntenwolken worden verkregen door technieken zoals laserscanning en fotogrammetrie. Laserscanning gebruikt laserpulsen om precieze afstandsmetingen te verzamelen, terwijl fotogrammetrie gebruikmaakt van meerdere camerabeelden om diepte-informatie te berekenen [4].

Puntenwolken worden toegepast in diverse sectoren zoals de bouw, civiele techniek, landmeetkunde en archeologie. Ze kunnen worden gebruikt voor het maken van 3D-modellen, het controleren van de voortgang van bouwprojecten, volumeberekeningen, digitale terreinmodellen (DTM), en in het geval van autonoom werkende machines, als basisdata voor machine-automatisering [5]. Puntenwolken kunnen worden omgezet in Computer-Aided Design (CAD) of BIM-bestanden, een proces dat bekendstaat als Scan-to-BIM. Daarnaast kunnen ze worden gebruikt om de bestaande situatie te vergelijken met het ontwerp, een methode die Scan-vs-BIM heet. Dit helpt om eventuele afwijkingen tussen ontwerp en uitvoering op te sporen [6].

Opstart van puntenwolken bij Group Jansen

Group Jansen werkt nu drie jaar met een laserscanner, nadat er uitvoerig onderzoek is gedaan naar verschillende opties op de markt. Uiteindelijk is besloten om de Leica RTC360 3D Laser Scanner aan te schaffen. Leica is een gespecialiseerd bedrijf op het gebied van meet- en scanapparatuur, bekend om zijn laserscanners en de bijbehorende Cyclone-software, die wordt gebruikt voor het verwerken van puntenwolksdata. Het verwerken van een puntenwolk houdt in dat overbodige punten uit de puntenwolk worden verwijderd. Voorbeelden hiervan zijn reflecties van ramen, personen die door een scan gewandeld zijn en afval van een werf.

De keuze voor de Leica-scanner werd genomen na een vergelijking met de Faro Focus S70. Hoewel beide scanners zeer nauwkeurige puntenwolken opleverden, bleek de Leica in het voordeel te zijn op enkele belangrijke punten. De scans van Leica vertoonden minder afwijking, wat zorgde voor een hogere nauwkeurigheid. Daarnaast kan de Leica sneller scannen en beschikt deze over een langere batterijduur, wat vooral belangrijk is op grote werven waar continu gebruik van de scanner vereist is. Deze voordelen maakten de Leica tot de meest geschikte keuze voor Group Jansen, aangezien de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de apparatuur belangrijk zijn voor hun projecten. De aanschaf van de scanner werd gedaan als onderdeel van een bundel die naast de scanner zelf ook een softwarelicentie voor Cyclone REGISTER 360 PLUS, een eendaagse opleiding van Leica en drie jaar onderhoud van de scanner omvatte voor 57.000 euro. Deze complete oplossing zorgde ervoor dat Group Jansen snel van start kon gaan met de nieuwe technologie. Momenteel beschikt het bedrijf nog steeds over dezelfde scanner en werkt men met één licentie om de gegevens te verwerken.

Gebruik van puntenwolken bij Group Jansen

Binnen Group Jansen spelen puntenwolken een cruciale rol in verschillende processen, zowel in de voorbereidingsfase als tijdens de uitvoering van een bouwproject. Het huidige proces binnen Group Jansen omvat het scannen van een project, het verwerken van de puntenwolk en het verspreiden van de gegevens onder de collega's [7]. De verwerking en het scannen worden door dezelfde persoon uitgevoerd, aangezien dit de kans op fouten vermindert en het proces versnelt. Twee medewerkers van de BIM-afdeling zijn opgeleid voor het maken en verwerken van deze puntenwolken.

Niet alleen de BIM-afdeling maakt gebruik van puntenwolken. Projectvoorbereiders gebruiken de puntenwolken voor het opstellen van plannen van bestaande situaties, waardoor ze beschikken over actuele en nauwkeurige informatie over de bouwlocatie. Dit helpt om eventuele afwijkingen tussen de plannen en de werkelijke situatie tijdig te detecteren. Ook de schrijnwerkerij van Group Jansen maakt gebruik van puntenwolken, met name voor het vervaardigen van meubels op maat. De puntenwolk geeft een gedetailleerde weergave van de ruimte waarin de meubels geplaatst zullen worden, waardoor ze zeer nauwkeurig kunnen worden vervaardigd. Daarnaast worden puntenwolken ingezet voor het controleren van uitgevoerde werken bij de installatie van klimaatplafonds. Voordat de plafonds worden geplaatst, kan de puntenwolk worden gebruikt om de uitvoering van de werkzaamheden te controleren. Wanneer er afwijkingen zijn tussen het ontwerp en de uitvoering, kunnen de afmetingen van de klimaatplafonds op basis van de puntenwolk worden aangepast. Dit zorgt ervoor dat eventuele problemen tijdens de installatie worden voorkomen.

Puntenwolken bij Jansen Cleanrooms & Labs

Group Jansen heeft ook een gespecialiseerde afdeling voor het ontwerpen en bouwen van cleanrooms, waarin puntenwolken een belangrijke rol spelen. Een cleanroom is een afgesloten, hygiënische ruimte waar strikte eisen gelden op het gebied van luchtzuiverheid en hygiëne [8]. In tegenstelling tot traditionele bouwverven, waar puntenwolken in zwart-wit worden gemaakt, worden voor cleanrooms puntenwolken in kleur gemaakt. Dit komt doordat de technieken en installaties in een cleanroom vaak goed verborgen zijn achter de afwerking van de ruimte. Voordat de kamers volledig worden afgewerkt, worden de technieken zoals luchtbehandelingssystemen, elektriciteit en gasleidingen gescand in kleur. Deze kleurscan maakt het mogelijk om later de verschillende technieken te identificeren en te bepalen welke functie ze hebben. In een zwart-witscan is het veel moeilijker om onderscheid te maken tussen de verschillende elementen, waardoor puntenwolken in kleur essentieel zijn in dit proces.

Een zwart-witscan duurt 26 seconden per scan, terwijl een scan in kleur 1 minuut en 26 seconden duurt [9]. Dit tijdsverschil weegt niet op tegen de voordelen van de extra informatie die de kleurscan biedt bij cleanrooms. Deze scans zorgen ervoor dat zelfs na de afwerking van de cleanroom de exacte locatie en functie van alle verborgen technieken altijd duidelijk en beschikbaar zijn voor toekomstige referentie. Dit helpt bij eventuele reparaties of onderhoud zonder dat de afwerking van de cleanroom beschadigd hoeft te worden.

Problemen met puntenwolken binnen Group Jansen

De huidige aanpak binnen Group Jansen laat ruimte voor verbetering, vooral op het gebied van software. Programma's zoals Revit, een BIM-programma van Autodesk voor het ontwerpen en beheren van 3D-modellen, zijn geschikt voor modellering, maar beperkt in het effectief gebruiken van een volledige puntenwolk. Het bekijken van de volledige puntenwolk in Revit is lastig, omdat het programma voornamelijk werkt met doorsnedes in 2D, terwijl de puntenwolk in 3D is.

Momenteel ligt de nadruk bij Group Jansen vooral op het verbeteren van de softwaretoepassingen na het verwerken van een puntenwolk. Het bedrijf maakt gebruik van een Leica-scanner en is tevreden met de kwaliteit van de puntenwolken die deze scanner produceert. Hoewel Cyclone, de verwerkingssoftware van Leica, nog enkele fouten bevat en zich nog in een vroeg stadium bevindt, is de software voldoende voor de huidige behoeften. Naast de huidige toepassingen van puntenwolken wordt er actief gezocht naar nieuwe mogelijkheden om de technologie breder in te zetten binnen verschillende projecten, met als doel de efficiëntie en nauwkeurigheid verder te verbeteren.

Binnen Group Jansen bestaat een groeiende behoefte aan nauwkeurige gegevens van bestaande gebouwen voor het maken van modellen van gebouwen of om de uitvoering van bouwprojecten te controleren ten opzichte van het ontwerp. Hoewel puntenwolken hiervoor een krachtig hulpmiddel zijn, wordt het volledige potentieel ervan momenteel nog niet benut. Nadat een gebouw is gescand, wordt de puntenwolk verwerkt in Cyclone en vervolgens geïntegreerd in modellen in Revit. Dit proces verloopt echter nog steeds niet optimaal, omdat de verschillende stappen handmatig uitgevoerd moeten worden. Bijvoorbeeld: het verwerken van de volledige puntenwolk vereist tijdrovende handmatige handelingen, wat de kans op menselijke fouten vergroot.

Ook voor volumeberekeningen is er binnen Group Jansen nog geen geautomatiseerd proces aanwezig. Gebogen of oneffen oppervlakken zoals wanden of vloeren worden op basis van tweedimensionale plannen berekend, wat kan leiden tot fouten en onnauwkeurige schattingen van het benodigde materiaal. Dit kan niet alleen leiden tot verspilling, maar ook tot onverwachte kosten bij de uitvoering van projecten.

Synthese van bestaande onderzoeken die gedaan zijn binnen het bedrijf

Er is binnen het bedrijf al beperkt onderzoek gedaan naar het gebruik van Civil 3D voor het maken van volumeberekeningen. Civil 3D is een softwareprogramma ontwikkeld door Autodesk, specifiek ontworpen voor civiele techniek en infrastructuurprojecten [10]. Civil 3D biedt tools voor onder andere terreinmodellering en volumeberekeningen.

Dit onderzoek heeft echter nooit geleid tot een afgewerkt eindresultaat, voornamelijk door een tekort aan tijd en de beschikbaarheid van geschikte software. Bij de uitvoering van het onderzoek, dat twee jaar geleden plaatsvond, bleek de foutmarge nog te groot om betrouwbare resultaten te garanderen. Daarnaast is er tot op heden nog geen onderzoek verricht naar vergelijkingssoftware. Dit biedt mogelijkheden voor verdere verkenning en ontwikkeling van efficiëntere werkmethoden binnen het bedrijf.

2. Projectdefinitie

2.1 Doel en afbakening

Must have

Deze bachelorproef richt zich op het optimaliseren van de toepassing van puntenwolken binnen de BIM-processen van Group Jansen. Het doel is om een uitgebreide evaluatie te maken van verschillende softwareprogramma's die het mogelijk maken om een puntenwolk te vergelijken met het model van de bestaande en/of nieuwe toestand.

Elk programma wordt beoordeeld aan de hand van criteria die door Group Jansen worden vastgesteld, waarbij ook de wegingsfactoren voor elk criterium door hen worden bepaald. Dit zorgt voor een objectieve vergelijking en resulteert in een totaalscore voor elk programma. De drie programma's met de hoogste score worden geselecteerd voor verdere praktijktests. Deze praktijktests worden uitgevoerd om de prestaties en bruikbaarheid van de software binnen de werkprocessen van Group Jansen te evalueren. Hierbij worden de programma's getest op minstens twee verschillende werven van Jansen Building Projects. Dit helpt te bepalen of de prestaties van de software afhankelijk zijn van de specifieke werkomgeving en zorgt voor representatieve resultaten die de betrouwbaarheid van de software onder verschillende omstandigheden beoordelen. Op basis van deze praktijktests wordt uiteindelijk een programma als de beste optie gekozen voor het bedrijf.

Nice to have

Het uitvoeren van onderzoek naar herkenningsoftware vormt een aanvulling op de bachelorproef. Momenteel is het noodzakelijk om alle gegevens van een puntenwolk handmatig te verwerken, zoals het intekenen van wanden. Er wordt gekeken naar software die in staat is om objecten, zoals wanden en vloeren, automatisch te herkennen en deze te voorzien van de juiste data in de puntenwolk.

If possible

Het automatiseren van volumeberekeningen kan een waardevolle aanvulling zijn bij het onderzoek naar het gebruik van puntenwolken. Momenteel zijn er veel uitdagingen bij het berekenen van volumes van gebogen of oneffen oppervlakken zoals wanden of vloeren, wat leidt tot grote afwijkingen in de benodigde materialen en daardoor ook in de kosten. Voor de bachelorproef wordt er onderzoek gedaan naar het automatiseren van volumeberekeningen voor vloeren en wanden. Dit onderzoek zou Group Jansen helpen om verspilling te verminderen en de kosten te beheersen, doordat de werkelijke hoeveelheden materiaal beter overeenkomen met de geschatte hoeveelheden.

Out of scope

Er zal geen diepgaand onderzoek worden gedaan naar andere beschikbare scanners op de markt, aangezien de focus ligt op softwarematige oplossingen die worden toegepast na het verwerken van een puntenwolk. Het testen van scanners van andere merken wordt niet overwogen vanwege de hoge kosten die met een nieuwe aanschaf gepaard gaan. Bovendien vereist elke fabrikant zijn eigen software voor de verwerking van de scannerdata, wat betekent dat bij de aanschaf van een nieuwe scanner ook nieuwe software aangekocht moet worden. Dit bemoeilijkt de vergelijking tussen scanners en bijbehorende software van verschillende fabrikanten.

2.2 Succescriteria

Must have

- Een marktonderzoek doen van minstens acht verschillende programma's die een puntenwolk kunnen vergelijken met het model van de bestaande en/of nieuwe toestand.
- Van de onderzochte software worden minstens vier criteria besproken. Voorbeelden hiervan zijn: functionaliteit, installatievereisten en kosten. Group Jansen kent aan elk criterium een wegingsfactor toe, zodat de software op een objectieve en gestandaardiseerde manier kan worden beoordeeld. Deze aanpak zorgt voor een evaluatie die afgestemd is op de specifieke prioriteiten en behoeften van het bedrijf. Op basis van deze beoordeling wordt voor elk programma een score op 100 berekend, wat een duidelijke vergelijking tussen de verschillende opties mogelijk maakt.
- De drie softwareprogramma's met de hoogste score worden getest op minstens twee verschillende werven van Jansen Building Projects om inzicht te krijgen in hoe de software presteert in uiteenlopende omgevingen.
- Er wordt feedback verzameld van minstens twee gebruikers binnen Group Jansen om de gebruiksvriendelijkheid en toepasbaarheid van de gekozen software in de praktijk te beoordelen. De gebruiksvriendelijkheid wordt bepaald op basis van het aantal handelingen dat nodig is om een vergelijking uit te voeren.

Nice to have

- Minstens één softwareprogramma voor automatische objectherkenning, zoals het herkennen van wanden en vloeren in een puntenwolk, moet getest worden.
- Het testresultaat wordt vergeleken met de huidige methode om te bepalen of de herkenningssoftware de efficiëntie verhoogt.

If possible

- Voor automatische volumeberekeningen wordt minstens één softwareprogramma getest en toegepast op een project binnen Group Jansen.
- De door de software berekende hoeveelheid wordt vergeleken met een BIM-gebaseerde berekening en de effectief gebruikte hoeveelheden.

2.3 Eindresultaat

Het eindresultaat van deze bachelorproef bevat een vergelijkende Excel-tabel met een overzicht van de voor- en nadelen van de onderzochte softwareopties voor het vergelijken van puntenwolken met BIM-modellen. De verschillende criteria worden beoordeeld met wegingsfactoren die zijn vastgesteld door Group Jansen. Dit zorgt voor een objectieve score en rangschikking van de softwareprogramma's. De score voor elk programma wordt automatisch berekend op basis van een reeks meerkeuzevragen die ingevuld worden in de tabel, waardoor de vergelijking eenvoudig en gestructureerd plaatsvindt.

Het gekozen programma wordt samengevat in een visueel ondersteunde presentatie die de belangrijkste bevindingen en praktische toepassingen uitlegt. Deze presentatie is voorzien van afbeeldingen en video's met uitleg om de medewerkers van de BIM-afdeling te ondersteunen bij het snel en efficiënt leren gebruiken van de software. Hierdoor wordt de gebruiksvriendelijkheid verhoogd en kunnen werknemers de nieuwe software makkelijker integreren in hun werkzaamheden.

Het totale eindproduct heeft als doel om niet alleen een grondige evaluatie te bieden, maar ook praktische ondersteuning te bieden voor de implementatie en het gebruik van de geselecteerde software. Dit draagt bij aan de optimalisatie van het gebruik van puntenwolldata binnen de BIM-afdeling van Group Jansen.

Hoe kan het gebruik van puntenwolken binnen de BIM-processen van Group Jansen worden geoptimaliseerd en geautomatiseerd door middel van vergelijkingssoftware, objectherkenning en volumeberekeningen?

 Doel - Het doel van deze bachelorproef is het optimaliseren van het gebruik van puntenwolken binnen de BIM-processen van Group Jansen. - Dit omvat onderzoek naar softwaretoepassingen voor verwerkte puntenwolken die efficiëntie en nauwkeurigheid verbeteren. - Door een uitgebreid marktonderzoek worden verschillende softwareprogramma's geëvalueerd die puntenwolken kunnen vergelijken met BIM-modellen van de bestaande en/of nieuwe toestand. - Het uiteindelijke doel is het selecteren van één softwareprogramma dat het beste aansluit bij de behoeften en werkprocessen van Group Jansen.	 Afbakening Must have - Evaluatie van software voor het vergelijken van puntenwolken met het model van de bestaande en/of nieuwe toestand. - De toepassingen zijn gericht op projecten van Jansen Building Projects. - De gebruikte puntenwolken zijn gemaakt met de Leica RTC360 3D Laser Scanner, aangezien deze scanner wordt gebruikt binnen Group Jansen. Nice to have - Onderzoek naar software voor automatische objectherkenning om wanden en vloeren te identificeren in puntenwolken. If possible - Onderzoek naar software voor automatische volumeberekeningen van gebogen of oneffen oppervlakken zoals wanden of vloeren. Out of scope - Puntenwolken in kleur en andere scanners of hardware worden niet onderzocht in het onderzoek.	 Succescriteria - Een marktonderzoek doen van minstens acht verschillende programma's die een puntenwolk kunnen vergelijken met een model. - Van de onderzochte software worden minstens vier criteria besproken. Group Jansen kent aan elk criterium een wegingsfactor toe, zodat de software op een objectieve en gestandaardiseerde manier kan worden beoordeeld. Op basis van deze beoordeling wordt voor elk programma een score op 100 berekend. - De drie softwareprogramma's met de hoogste score worden getest op minstens twee verschillende werven van Jansen Building Projects. - Feedback van minstens twee gebruikers binnen Group Jansen verzamelen over de gebruiksvriendelijkheid en toepasbaarheid van de geselecteerde software. - Minstens één softwareprogramma voor automatische objectherkenning testen en vergelijken met de huidige handmatige methode. - Testen van minstens één programma voor volumeberekeningen en vergelijken met de BIM-gebaseerde berekening en de effectief gebruikte hoeveelheden.				
 Mijlpalen Uiterlijk 25/10/2024 Literatuurstudie naar het gebruik van puntenwolken binnen de bouwsector en binnen Group Jansen.	 Uiterlijk 22/11/2024 Onderzoek naar de huidige werkwijze en eerder onderzochte software.	 Uiterlijk 21/02/2025 Theoretisch onderzoek van programma's voor vergelijkingssoftware.	 Uiterlijk 11/04/2025 Praktijktests uitvoeren en het meest geschikte programma bepalen.	 Uiterlijk 02/05/2025 Feedback verzamelen in verband met de gebruiksvriendelijkheid en toepasbaarheid van de gekozen software.	 Uiterlijk 23/05/2025 Opstellen van een samenvattende presentatie met bevindingen en uitleg van het geselecteerde programma.	 Eindresultaat (Product) - Een Excel-tabel met de voor- en nadelen van de onderzochte softwareopties, inclusief een objectieve score en rangschikking op basis van criteria met wegingsfactoren. De score wordt bepaald door het invullen van een reeks meerkeuzevragen. - Een visueel ondersteunde presentatie met uitleg over de bevindingen en toepassingen van het aanbevolen programma, voorzien van afbeeldingen en video's om de BIM-afdeling te ondersteunen bij het snel en efficiënt leren gebruiken van de software.
 Acties - Raadplegen van online documentatie over het gebruik van puntenwolken in de bouwsector. - Interviews doen met werknemers van Group Jansen die puntenwolken inscannen en werknemers die met puntenwolken werken.	- Zelf zones van AZ Diest en Wijnegem - Shop Eat Enjoy inscannen om het proces aan te leren. - Deze puntenwolken leren verwerken met Cyclone. - Interne documentatie over onderzoek naar programma's raadplegen. - Identificeren van knelpunten in de huidige werkwijze en software.	- Marktonderzoek van vergelijkingssoftware. - Group Jansen criteria laten bepalen met wegingsfactoren. - Geautomatiseerde Excel-tabel opstellen, waarbij de score wordt berekend door het invullen van een reeks vragen. - Software beoordelen per criterium. - Bedrijven contacteren voor een testlicentie en kostprijzen.	- Bepalen op welke werven de programma's getest gaan worden. - Praktijktests uitvoeren met de drie beste programma's op minstens twee werven. - Afwegingen maken tussen kostprijs en functionaliteit via feedback van medewerkers. - Een programma selecteren als de beste optie voor Group Jansen.	- Ik geef een demonstratie van het gekozen programma aan werknemers van de BIM-afdeling van Group Jansen. - Op basis van de demonstratie geven de werknemers hun mening over de gebruiksvriendelijkheid en toepasbaarheid. - De gebruiksvriendelijkheid wordt geëvalueerd met behulp van de System Usability Scale.	- Samenvattende presentatie opstellen met foto's en video's, voorzien van uitleg over hoe de gekozen software gebruikt wordt. - De video's zijn opnames tijdens het gebruik van de software, gemaakt met OBS Studio en bewerkt met DaVinci Resolve.	
 Achtergrond - Group Jansen gebruikt al drie jaar puntenwolken in hun BIM-processen en heeft hiervoor de Leica RTC360 3D Laser Scanner aangeschaft. Deze scanner levert gedetailleerde 3D-weergaven van bestaande ruimtes, die worden verwerkt in BIM-modellen voor een nauwkeurige weergave van de werkelijke situatie. - Puntenwolken spelen een cruciale rol in verschillende afdelingen, zoals de projectvoorbereiding, de schrijnwerkdij en het ontwerpen van cleanrooms. Deze technologie stelt Group Jansen in staat om afwijkingen vroegtijdig te detecteren. - Er is echter nog ruimte voor optimalisatie, met name op het gebied van software voor puntenwolkvergelijking met het model van de bestaande en/of nieuwe toestand en het toepassen van automatische objectherkenning. Deze taken worden momenteel handmatig uitgevoerd, wat tijdrovend is en gevoelig voor menselijke fouten.	 Bronnen - Interviews met medewerkers van Group Jansen die werken met puntenwolken - Fabrikanten van softwareprogramma's die gebruikt kunnen worden in het kader van deze bachelorproef - Eerdere interne documentatie van Group Jansen over softwaretoepassingen van puntenwolken - Gebruikerservaringen en online reviews van programma's - Artikelen Buildwise - Webinars over relevante programma's - World Circular Economy Forum 2023 - BIM-Onderwijsdag Utrecht 2024					

III. Deel 2: Oplossing en Reflectie

1. Proces

1.1 Na tussentijdse jury en mondelinge bevraging

Theoretisch onderzoek van programma's voor vergelijkingssoftware

Om te bepalen welke softwareprogramma's het meest geschikt zijn om puntenwolken te vergelijken met BIM-modellen, werd een uitgebreid theoretisch onderzoek uitgevoerd.

Acties

- Een geautomatiseerde Excel-tabel opgesteld waarin de scores van softwareprogramma's automatisch worden berekend op basis van een reeks meerkeuzevragen. Alle programma's zijn beoordeeld aan de hand van vooraf vastgelegde criteria en wegingspercentages, opgesteld in overleg met Group Jansen.
- Een marktonderzoek uitgevoerd naar twaalf softwareprogramma's die relevant zijn voor vergelijkingssoftware:
 - CloudCompare
 - Leica Cyclone 3DR
 - Cintoo Cloud
 - FARO BuildIT Construction
 - ClearEdge3D Verity
 - Deviation nSpector
 - Undet Point Cloud Software
 - BIM & Scan AutoCorr
 - Trimble RealWorks
 - ATIS.cloud
 - Point Layout
 - Imaginit Scan to BIM
- In samenspraak met Group Jansen beslist om de praktijktests uit te voeren op de projecten Hotel Panquin en Brouwerij Alken-Maes. Deze werven zijn bewust gekozen, omdat zij sterk verschillen in opbouw en complexiteit. Hotel Panquin is een open, gestript gebouw, terwijl Brouwerij Alken-Maes een technisch complexe omgeving is met veel technieken en installaties.
- Een vragensessie gehouden met vertegenwoordigers van Cintoo Cloud om extra informatie te verkrijgen over de vergelijkingsfunctionaliteit, aangezien zij dit standaard aanbieden bij het activeren van testlicenties.
- Deelgenomen aan een demonstratie van Undet, met aandacht voor zowel vergelijkingssoftware als objectherkenning.
- De puntenwolk en het BIM-model van Hotel Panquin en Brouwerij Alken-Maes verwerkt, zodat deze bruikbaar zijn voor de praktijktests.

Moeilijkheden en gevolgen

Op 11 december 2024 zijn de mails verstuurd naar twaalf softwareleveranciers om testlicenties en prijsinformatie aan te vragen. Vier leveranciers, Deviation nSpector, ATIS Cloud, Trimble RealWorks en BIM and Scan AutoCorr, hebben niet gereageerd. Enkele van deze bedrijven zijn eerder al door Group Jansen benaderd, maar hebben toen ook niet gereageerd. Deze software wordt nog steeds onderzocht, maar scoort 0% op het onderdeel "ondersteuning" in de vergelijkende tabel.

Resultaten

Na het theoretische onderzoek zijn de drie hoogst scorende programma's geselecteerd voor praktijktests. Dit zijn: CloudCompare, Leica Cyclone 3DR en Cintoo Cloud.

Praktijktests uitvoeren en het meest geschikte programma bepalen

Acties

- Undet Point Cloud Software toegevoegd aan de praktijktests, op verzoek van Group Jansen, omdat dit een plug-in is voor Revit in plaats van een zelfstandige applicatie of website zoals de andere programma's.
- Handleidingen, YouTube-video's en webinars van de vier geselecteerde programma's geraadpleegd om de werking te begrijpen voor de start van de praktijktests.
- Testlicenties geactiveerd:
 - CloudCompare: onbeperkt geldig, aangezien de software gratis is
 - Leica Cyclone 3DR: twee keer 15 dagen
 - Cintoo Cloud: van februari tot en met mei, met een limiet van 200 scans
 - Undet Point Cloud Software: 30 dagen, met mogelijkheid tot verlenging
- Praktijktests uitgevoerd met de vier programma's op zowel Hotel Panquin als Brouwerij Alken-Maes.
- Unieke functionaliteiten van de geselecteerde programma's geëvalueerd:
 - Leica Cyclone 3DR getest op het automatisch genereren van grafische weergaven van de vergelijking en het opstellen van rapporten.
 - Automatische leidingmetingen in Cintoo Cloud getest, waarbij de software de diameter en het middelpunt (X-, Y- en Z-coördinaten) van leidingen automatisch bepaalt.
- Alle bevindingen vastgelegd, inclusief screenshots met uitleg en voor- en nadelen per programma. Dit is voor de latere bespreking met de BIM-afdeling.

Moeilijkheden en gevolgen

Bij het testen van CloudCompare crashte de software telkens bij de vergelijking van het model en de puntenwolk van Brouwerij Alken-Maes. De vergelijking voor Hotel Panquin was wel mogelijk, aangezien deze puntenwolk kleiner is. Uit deze resultaten blijkt dat CloudCompare niet geschikt is voor de grote projecten van Group Jansen.

Daarnaast is de vergelijking met Undet niet succesvol verlopen. Nadat de berekening 100% voltooid was, bleef de software eindeloos laden. Zelfs na 11 uur onafgebroken verwerking was er nog geen resultaat. Hierdoor kon de test niet worden afgerond. Om te bepalen of Undet alsnog bruikbaar is, zal de test worden herhaald met andere bestandsformaten en aangepaste instellingen.

Resultaten

De voor- en nadelen van elk programma werden vastgelegd met documentatie en screenshots voor verdere bespreking met de BIM-afdeling.

1.2 Na terugkommoment 1

Praktijktests uitvoeren en het meest geschikte programma bepalen

Acties

- Undet opnieuw getest op de projecten Hotel Panquin en Brouwerij Alken-Maes door het gebruik van gedecimeerde puntenwolken en lagere kwaliteitsinstellingen. Daarbij werd ook de scan-to-BIM-functionaliteit uitgeprobeerd, zoals het modelleren van wanden met drie klikken en het aanmaken van openingen met twee klikken.
- Schermopnames gemaakt tijdens het gebruik van Cyclone 3DR, zodat de functionaliteit van de software later opnieuw bekeken kan worden en gebruikt kan worden in instructievideo's. Voor de andere programma's is dit niet nodig, aangezien de testlicenties langer beschikbaar zijn.
- De resultaten van de praktijktests samengevat en een aanbeveling geschreven voor Group Jansen.
- De resultaten van de praktijktests en de opgestelde aanbeveling werden besproken met de leden van de BIM-afdeling, waarbij zowel de functionaliteit als de kostprijs van de softwareprogramma's in overweging werden genomen. Uit deze evaluatie kwam Leica Cyclone 3DR naar voren als de meest geschikte keuze. De belangrijkste redenen hiervoor zijn:
 - **CloudCompare**
Tijdens de praktijktests crashte CloudCompare bij grotere projecten zoals Brouwerij Alken-Maes, waardoor het programma onvoldoende betrouwbaar is voor Group Jansen.
 - **Cintoo Cloud**
Hoewel functioneel sterk, bedraagt de kostprijs voor de versie die nodig is voor Group Jansen, die 10.000 scans per jaar verwerkt, 26.000 euro per jaar. Dit maakt het programma financieel onhaalbaar.
 - **Undet Point Cloud Software**
De software is voornamelijk ontworpen voor scan-to-BIM-processen, waarbij op basis van een puntenwolk een BIM-model wordt opgebouwd, en is minder geschikt voor scan-vs-BIM-toepassingen, waarbij een puntenwolk wordt vergeleken met een BIM-model.
 - **Leica Cyclone 3DR**
Deze software is stabiel, gebruiksvriendelijk en biedt enkele unieke functionaliteiten, zoals het automatisch genereren van rapporten, automatische objectherkenning en de gratis Cyclone 3DR Viewer waarmee anderen de resultaten kunnen bekijken zonder zelf over een licentie te beschikken. Bovendien blijft de jaarlijkse licentiekost van 3.400 euro ruim binnen het door Group Jansen vastgelegde budget van 5.000 euro.
- De functionaliteit van de gratis Cyclone 3DR Viewer getest om de mogelijkheden voor het bekijken van resultaten zonder licentie te evalueren.

Moeilijkheden en gevolgen

Bij het maken van schermopnames traden technische problemen op. Tijdens het importeren van de puntenwolk in Cyclone 3DR crashte de opnamesoftware EaseUS RecExperts door overbelasting van de processor. Dit werd opgelost door over te schakelen naar OBS Studio, dat een stabielere werking bood.

Resultaten

De praktijktests zijn afgerond en de keuze voor Leica Cyclone 3DR is definitief vastgelegd. Nu kunnen de instructievideo's worden opgesteld om de BIM-afdeling te ondersteunen bij het aanleren van de software.

Opstellen van een samenvattende presentatie met bevindingen en uitleg van het geselecteerde programma

Acties

- Een script opgesteld voor de instructievideo's van het gekozen programma met daarin de belangrijkste aandachtspunten, zoals de navigatie in de software, de ondersteunde bestandsformaten, het uitvoeren van een vergelijking en het instellen van parameters.
- Gestart met het opnemen en monteren van instructievideo's. De video's bevatten instructies over:
 - Het inladen van data en navigeren in de software,
 - Uitvoeren van een vergelijking en instellen van parameters,
 - Aanmaken van een limit box voor het analyseren van de vergelijking,
 - Geautomatiseerde grafische weergave van een vergelijking,
 - Toevoegen van notities aan een model,
 - Automatisch een rapport genereren.
- De samenvattende presentatie aangevuld met uitleg over de vergelijkende tabel, algemene info van het onderzoek, een overzicht van de voor- en nadelen van Cyclone 3DR, de instructievideo's en nuttige links voor aanvullende informatie over Cyclone 3DR.

Moeilijkheden en gevolgen

Tijdens het montageproces werd overgeschakeld van LumaFusion naar DaVinci Resolve. Deze wijziging resulteerde in een vlotter montageproces en een professioneler eindresultaat.

Resultaten

Het maken van de instructievideo's is eerder gestart dan gepland. Oorspronkelijk zouden deze pas worden opgesteld na de evaluatie van de gebruiksvriendelijkheid, maar door ze nu al beschikbaar te maken, kunnen medewerkers van de BIM-afdeling de software direct leren gebruiken aan de hand van de instructievideo's. Dit biedt niet alleen de mogelijkheid om de software te testen, maar ook om feedback te verzamelen over de kwaliteit en bruikbaarheid van de instructievideo's.

Feedback verzamelen in verband met de gebruiksvriendelijkheid en toepasbaarheid van de gekozen software

Acties

- Een geautomatiseerde evaluatietabel op basis van de System Usability Scale (SUS) gemaakt om de gebruikservaring van de BIM-afdeling te meten.

Resultaten

De video's voor vergelijkingssoftware zijn afgerond en de software kan nu door de BIM-afdeling worden geëvalueerd met behulp van de System Usability Scale. Hiervoor is een geautomatiseerde Excel-tabel opgesteld, waarin gebruikers vakjes kunnen aanduiden bij de gestelde vragen. De tabel berekent automatisch de SUS-score en genereert een grafische weergave van het resultaat.

Uitbreiding van het onderzoek naar objectherkenning en volumeberekeningen

Acties

- Marktonderzoek uitgevoerd naar software die ondersteuning biedt voor automatische objectherkenning en naar software voor volumeberekeningen met puntenwolken.
- Besloten dat Leica Cyclone 3DR ook het beste programma is voor objectherkenning, omdat het programma automatische objectherkenning kan uitvoeren door middel van artificiële intelligentie en al wordt gebruikt als vergelijkingssoftware.
- De handleidingen en instructievideo's van Cyclone 3DR geraadpleegd om te bepalen welke tests nog uitgevoerd moeten worden en welke extra schermopnames gemaakt moeten worden tijdens de tweede testperiode van Cyclone 3DR.

Moeilijkheden en gevolgen

Tijdens het marktonderzoek naar software voor volumeberekeningen werd contact opgenomen met verschillende vertegenwoordigers. Hieruit bleek dat er op dit moment geen softwareprogramma beschikbaar is dat volledig aansluit bij de toepassingen van Group Jansen voor het uitvoeren van volumeberekeningen op basis van puntenwolken.

Omdat Cyclone 3DR gekozen is als het beste programma voor zowel vergelijkingssoftware als objectherkenning, wordt onderzocht of binnen ditzelfde programma toch een werkbare methode kan worden ontwikkeld voor volumeberekening. Op die manier blijven alle functionaliteiten gecentraliseerd in één softwarepakket, wat de werkwijze vereenvoudigt en overstappen tussen meerdere programma's overbodig maakt.

Resultaten

Een overzicht van de nog uit te voeren tests werd opgesteld, waarbij de focus ligt op objectherkenning en het ontwikkelen van een werkbare methode voor volumeberekeningen binnen Cyclone 3DR. Deze functies zullen worden onderzocht tijdens de tweede testperiode, waarin de BIM-afdeling ook de gebruiksvriendelijkheid van de software beoordeelt.

1.3 Na terugkommoment 2

Feedback verzamelen in verband met de gebruiksvriendelijkheid en toepasbaarheid van de gekozen software

Acties

- De software Leica Cyclone 3DR werd getest door twee leden van de BIM-afdeling van Group Jansen. De gebruiksvriendelijkheid en toepasbaarheid werden geëvalueerd aan de hand van de System Usability Scale. Voor het aanleren van de software maakten de deelnemers gebruik van de eerder opgestelde instructievideo's. Hierdoor kon eveneens feedback worden verzameld over de bruikbaarheid van de video's.

Resultaten

De evaluatie resulteerde in een gemiddelde SUS-score van 91. Deze score weerspiegelt de gecombineerde beoordeling van zowel de software als de instructievideo's, en plaatst het geheel in het 97^{ste} percentiel. Dit wijst op een uitstekende bruikbaarheid en gebruiksvriendelijkheid. De deelnemers gaven aan dat de video's zeer duidelijk en bruikbaar waren voor het zelfstandig aanleren van de verschillende functies binnen Cyclone 3DR, zonder nood aan aanvullende begeleiding.

Daarnaast werd een grafische weergave opgesteld van de totale SUS-score en van de gemiddelde score per vraag. Deze visualisaties verduidelijken hoe de totaalscore tot stand kwam en geven inzicht in de sterktes en aandachtspunten.

Onderzoek naar objectherkenning

Acties

- Aanvullende schermopnames gemaakt tijdens het gebruik van Cyclone 3DR om het proces van objectherkenning vast te leggen.
- Een reeks instructievideo's opgesteld waarin de functies rond objectherkenning stap voor stap worden uitgelegd, waaronder:
 - Het automatisch classificeren van punten in verschillende categorieën met behulp van artificiële intelligentie. Denk hierbij aan het onderscheiden van wanden, vloeren, kolommen, deuren, daken en ramen.
 - Het handmatig corrigeren van foutief geclassificeerde punten in de puntenwolk.
 - Hoe een puntenwolk opgesplitst kan worden per classificatie. Op deze manier wordt een grote puntenwolk opgedeeld in kleinere puntenwolken per categorie.
 - Het verder onderverdelen van geclassificeerde punten, bijvoorbeeld per verdieping of per ruimte.
 - Het exporteren van de volledige puntenwolk of van afzonderlijke categorieën in aparte bestanden.

Resultaten

Het onderzoek naar objectherkenning resulteerde in een reeks duidelijke en praktijkgerichte instructievideo's die stap voor stap demonstreren hoe objectherkenning binnen Cyclone 3DR toegepast kan worden. Deze video's vormen een bruikbaar hulpmiddel voor het opleiden van medewerkers en het ondersteunen van de BIM-afdeling van Group Jansen.

Onderzoek naar volumeberekeningen

Acties

- Binnen Cyclone 3DR werden nieuwe werkmethoden onderzocht om volumeberekeningen uit te voeren zonder gebruik te maken van een referentieniveau.
- Er werd contact opgenomen met de vertegenwoordiger van Leica Benelux om te overleggen welke mogelijkheden Cyclone 3DR biedt voor deze specifieke toepassing.

Moeilijkheden en gevolgen

Het berekenen van het chapevolume op basis van een puntenwolk zonder bekend referentieniveau bleek technisch uitdagend. Aangezien het vloerniveau in werkelijkheid nog niet aanwezig is, ontbreken in de puntenwolk meetpunten die dit niveau aanduiden. Hierdoor is een directe volumeberekening met bestaande softwaretoepassingen niet mogelijk.

Alternatieve oplossingen, zoals het genereren van een mesh op basis van het vloeroppervlak, bleken onbetrouwbaar. Een mesh is een digitaal oppervlak dat wordt opgebouwd uit een netwerk van driehoekjes die de vorm van een ruimte benaderen op basis van puntenwolldata. De kwaliteit hiervan werd echter sterk beïnvloed door scanverstoringen zoals blinde vlekken, obstakels, afval en waterplassen. Dit leidde tot vervormde of onvolledige modellen, waardoor deze methode ongeschikt was voor een nauwkeurige berekening.

Als alternatief werd binnen Cyclone 3DR een methode ontwikkeld waarbij automatisch een gesloten contourlijn per kamer wordt gegenereerd. Op basis van deze contour kan de vloeroppervlakte worden berekend. Door de oppervlakte vervolgens te vermenigvuldigen met de gewenste chapedikte, kan het volume indirect worden bepaald. Hoewel deze methode geen rekening houdt met lokale oneffenheden, is ze wel robuust tegen storingen in de puntenwolk en praktisch toepasbaar op de werf.

Resultaten

De met Cyclone 3DR berekende hoeveelheden zijn vergeleken met de oppervlaktes volgens het BIM-model. De mediane afwijking bedraagt 0,44 procent en is gebaseerd op 14 vergelijkingen. Dit duidt op een betrouwbare en nauwkeurige benadering. De resultaten zijn weergegeven in een boxplot, die de spreiding van de afwijkingen visueel in kaart brengt.

Tot slot werd een instructievideo ontwikkeld waarin stap voor stap wordt uitgelegd hoe volumes kunnen worden berekend op basis van automatisch gegenereerde oppervlaktes. Deze methode is toepasbaar op kamerniveau, per verdieping of voor andere vlakken, zoals wanden.

Opstellen van een samenvattende presentatie met bevindingen en uitleg van het geselecteerde programma

Acties

De samenvattende presentatie is verder aangevuld met:

- Instructievideo's over het gebruik van objectherkenning en volumeberekeningen,
- Uitleg over het activeren van een licentie en het instellen van een floating licentie,
- Een stapsgewijze handleiding voor de installatie van de gratis Cyclone 3DR Viewer,
- Een grafische voorstelling van de nauwkeurigheid van de volumeberekeningen,
- Een samenvatting van de resultaten over gebruiksvriendelijkheid.

Resultaten

De samenvattende presentatie is volledig uitgewerkt en bundelt de belangrijkste onderdelen van het onderzoek. Ze bevat een overzicht van het marktonderzoek, de praktijktests, de installatie van de software en de bijhorende instructievideo's over vergelijkingen, objectherkenning en volumeberekeningen. Ook de evaluatie van de gebruiksvriendelijkheid en de nauwkeurigheid van de metingen wordt visueel toegelicht. Ten slotte zijn extra referenties toegevoegd die gebruikers snel toegang geven tot aanvullende documentatie en ondersteuning.

Aanbeveling voor Group Jansen

Acties

Op vraag van Group Jansen werd een schriftelijke aanbeveling opgesteld ter ondersteuning van de aankoop van Leica Cyclone 3DR. In dit document wordt beargumenteerd waarom Cyclone 3DR als meest geschikte software werd geselecteerd, op basis van de resultaten van de praktijktests en de specifieke behoeften van de BIM-afdeling. De aanbeveling bespreekt onder meer de stabiliteit, functionaliteit, gebruiksvriendelijkheid, kostprijs en het voordeel van het werken binnen één geïntegreerde softwareomgeving.

Resultaten

De aanbeveling biedt een beknopte en goed onderbouwde samenvatting van de meerwaarde van Cyclone 3DR voor Group Jansen. Ze dient als ondersteuning bij de interne besluitvorming en kan door het management worden gebruikt om de investering te verantwoorden.

1.4 Na terugkommoment 3

Onderzoek naar het automatiseren van het exporteren van een geclassificeerde puntenwolk met behulp van JavaScript

Binnen Cyclone 3DR bestaat de mogelijkheid om een geclassificeerde puntenwolk per categorie te exporteren. Dit biedt aanzienlijke voordelen bij het modelleren in Revit. Door enkel de relevante puntenwolken per categorie, zoals uitsluitend de wanden van een verdieping zichtbaar te maken, blijft het modelleren overzichtelijk en de softwareprestatie optimaal. Modelleurs kunnen daardoor gericht werken zonder overbodige gegevens.

Een belangrijk knelpunt was dat het handmatig exporteren van elke afzonderlijke categorie erg tijdrovend is. Cyclone 3DR ondersteunt meer dan tweehonderd verschillende classificaties. Hierdoor zou handmatig exporteren veel tijd vragen. Er werd daarom beslist om het exportproces te automatiseren via JavaScript.

Acties

- Een nieuwe testlicentie voor Cyclone 3DR aangevraagd en geactiveerd, zodat het script kon worden getest.
- De GitHub-pagina van Leica Cyclone 3DR geraadpleegd om bestaande voorbeeldscripts en documentatie [11] te bekijken. GitHub is een cloudgebaseerd platform waar je code kan opslaan, delen en samenwerken met anderen om code te schrijven [12].
- De online scriptdocumentatie van Cyclone 3DR [13] bekeken om inzicht te krijgen in de beschikbare functies en commando's die nodig zijn om de export te automatiseren.

Resultaten

Er is een script ontwikkeld waarmee automatisch alle geclassificeerde categorieën van een puntenwolk afzonderlijk worden geëxporteerd. Belangrijke kenmerken van het script zijn:

- Een dialoogvenster waarin de gewenste exportlocatie kan worden ingegeven,
- Keuze tussen de bestandsformaten e57 en laz, beide zijn bestandsindelingen voor puntenwolken en worden binnen Group Jansen veel gebruikt voor verdere verwerking in BIM-software,
- Automatische naamgeving van geëxporteerde bestanden op basis van de bijhorende classificatiecategorie, wat het terugvinden en gebruiken van de juiste puntenwolken vergemakkelijkt,
- Export van alle classificaties in één bewerking, zonder handmatige acties.

Om het gebruik van het script te vereenvoudigen, werd een instructievideo opgesteld waarin het volledige exportproces stap voor stap wordt toegelicht. In deze video wordt onder andere uitgelegd hoe het script wordt gestart, hoe de gewenste parameters worden ingesteld en hoe de resultaten worden opgeslagen.

2. Product

2.1 Product

Het product bestaat uit een vergelijkende tabel en een samenvattende presentatie, ontwikkeld om softwareprogramma's gestructureerd te evalueren en de implementatie ervan binnen Group Jansen te ondersteunen.

2.2 Beschrijving product

Vergelijkende tabel

De geautomatiseerde Excel-tabel is ontwikkeld om softwareprogramma's objectief te vergelijken op basis van vooraf vastgestelde criteria. Bovenaan de tabel staan de beoordelingscriteria, zoals functionaliteit, installatievereisten en kostprijs. Direct daaronder worden wegingsfactoren weergegeven, die bepalen hoe zwaar elk criterium meetelt in de uiteindelijke score. Om fouten te voorkomen, geeft de tabel automatisch een melding als de ingevoerde wegingsfactoren samen niet exact 100% bedragen. In dat geval wordt de totaalscore van de programma's niet berekend.

Voor elk softwareprogramma bevat de tabel drie rijen per criterium. In de eerste rij vult de gebruiker handmatig informatie in over het programma. Dit kan informatie zijn die online is gevonden, uit brochures, uit handleidingen, of door contact met de fabrikant. In de tweede rij wordt een meerkeuzevraag gesteld per criterium, waarbij de gebruiker een antwoord moet kiezen uit een vooraf gedefinieerde lijst. Dit zorgt voor een gestandaardiseerde beoordeling. In de derde rij wordt op basis van het gekozen antwoord automatisch een score ingevuld per criterium.

De totaalscore per programma wordt berekend door de individuele scores per criterium te vermenigvuldigen met de bijbehorende wegingsfactoren en vervolgens op te tellen. Deze score wordt weergegeven in de laatste kolom van de tabel en wordt visueel ondersteund door een kleurenschaal. De kleuren in de tabel verlopen geleidelijk van rood voor de laagste scores naar groen voor de hoogste, met tussentinten zoals oranje en geel om gradaties in prestaties weer te geven. Deze kleurovergang biedt een visuele manier om de prestaties van de verschillende programma's snel en duidelijk te interpreteren.

Naast de hoofdtabel is er een aparte overzichtspagina waarin de softwareprogramma's worden gesorteerd van hoogste naar laagste score. Deze pagina toont enkel de naam van het programma en de behaalde score, waardoor in één oogopslag duidelijk wordt welke software het beste scoort.

Deze Excel-tabel biedt een efficiënte en objectieve manier om verschillende softwareopties te vergelijken. Doordat gebruikers enkel kunnen kiezen uit vooraf ingestelde antwoorden, worden subjectieve beoordelingen voorkomen. Bovendien zorgt de automatische berekening ervoor dat fouten worden geminimaliseerd. Dankzij de overzichtelijke structuur en visuele weergave helpt deze tabel Group Jansen bij het selecteren van de meest geschikte software voor het vergelijken van puntenwolken met BIM-modellen.

Samenvattende presentatie

De samenvattende presentatie is ontworpen om op een visuele manier de werking van de vergelijkende tabel en het geselecteerde softwareprogramma toe te lichten. De presentatie begint met een kort overzicht van de vergelijkende tabel, waarin wordt uitgelegd hoe de softwareprogramma's zijn beoordeeld. Vervolgens wordt de invulprocedure toegelicht. Gebruikers zien hoe ze informatie over software kunnen invoeren, waarbij handmatige invoer van basisgegevens wordt gecombineerd met vooraf gedefinieerde meerkeuzevragen.

Daarna volgt een praktische toelichting over het activeren en beheren van licenties, waaronder hoe een licentie opnieuw floating kan worden gemaakt zodat andere gebruikers toegang krijgen. Ook wordt de installatie van de gratis Cyclone 3DR Viewer besproken. Omdat deze viewer zonder licentie werkt, kan hij eenvoudig gedeeld worden met externe partijen die de verwerkte puntenwolken willen raadplegen.

Vervolgens wordt het geselecteerde softwareprogramma Cyclone 3DR besproken. De presentatie geeft inzicht in de belangrijkste bevindingen uit het onderzoek, waaronder de sterke en zwakke punten, de functionaliteiten en de praktische toepasbaarheid binnen Group Jansen. De uitleg wordt ondersteund met demonstratievideo's die de concrete toepassing van de software stap voor stap tonen. Hierdoor kunnen medewerkers van de BIM-afdeling de software op een efficiënte manier aanleren en inzetten in hun werkzaamheden. Er zijn acht instructievideo's gemaakt, onderverdeeld in drie thema's:

Vergelijkingssoftware

- Hoe je puntenwolken en 3D-modellen importeert en hoe je door de omgeving navigeert
- Hoe je een cloud-vs-BIM-vergelijking uitvoert, inclusief het instellen van parameters zoals tolerantiegrenzen
- Hoe je een limit box aanmaakt om een specifieke zone te analyseren en de resultaten van de vergelijking bekijkt
- Hoe je de vergelijking documenteert met een automatisch gegenereerd rapport en eigen notities toevoegt

Objectherkenning

- Hoe je automatische objectherkenning toepast met behulp van artificiële intelligentie
- Hoe je een puntenwolk manueel classificeert en opsplijt
- Hoe je puntenwolken per classificatie exporteert, zowel handmatig als geautomatiseerd via JavaScript

Volumeberekeningen

- Hoe je oppervlaktes en volumes afleidt met behulp van de scan-to-plan-functie

Tot slot bevat de presentatie een samenvatting van de gebruiksvriendelijkheid. De resultaten van de System Usability Scale worden toegelicht, samen met grafieken die de totaalscore en de gemiddelde score per vraag weergeven. Daarnaast bevat de presentatie nuttige links naar aanvullende instructies, handleidingen en officiële documentatie van Cyclone 3DR. Op die manier kunnen gebruikers zich verder verdiepen in onderdelen van de software die in dit onderzoek niet aan bod kwamen, maar mogelijk wel relevant zijn voor toekomstige toepassingen binnen Group Jansen.

Door de gestructureerde en visuele opbouw biedt de presentatie niet alleen inzicht in het selectieproces, maar dient deze ook als trainingsmiddel. Medewerkers begrijpen niet alleen de keuze voor het programma, maar krijgen ook de juiste ondersteuning bij de implementatie.

3. Abstract

Auteur

Jordi Thys

Titel

Optimalisatie en automatisatie van het gebruik van puntenwolken in de bouwsector: vergelijkingssoftware, objectherkenning en volumeberekeningen voor BIM-processen

Promotoren

Jarne Bams

Jeroen Ceyssens

Sofie Massonnet

Group Jansen

Group Jansen

Hogeschool PXL

Binnen Group Jansen wordt al drie jaar gewerkt met puntenwolken die gemaakt worden via een laserscanner. Ondanks de hoge nauwkeurigheid van de scanner, verloopt de toepassing van puntenwolken in het BIM-proces nog niet optimaal. De voornaamste knelpunten liggen in het vergelijken van puntenwolken met BIM-modellen, het modelleren op basis van puntenwolldata en het berekenen van volumes. Het bedrijf is daarom op zoek naar een softwaretoepassing die deze knelpunten kan aanpakken. Deze bachelorproef heeft als doel het gebruik van puntenwolken binnen het bedrijf te optimaliseren door geschikte softwaretoepassingen te selecteren en te testen, en het bedrijf te ondersteunen bij het maken van een weloverwogen beslissing. Daarnaast biedt het onderzoek ondersteuning aan de BIM-afdeling bij het aanleren van de geselecteerde software.

Het onderzoek startte met een marktonderzoek van twaalf softwareprogramma's die gebruikt kunnen worden om puntenwolken te vergelijken met BIM-modellen. Elk programma werd beoordeeld op zeven criteria, waaronder functionaliteit, ondersteuning en kostprijs. De evaluatie gebeurde aan de hand van een geautomatiseerde Excel-tabel, waarin per programma een totaalscore werd berekend op basis van een reeks meerkeuzevragen. Op basis van deze scores werden de drie best presterende programma's geselecteerd voor praktijktests: CloudCompare, Leica Cyclone 3DR en Cintoo Cloud. Daarnaast werd, op verzoek van Group Jansen, ook Undet Point Cloud Software aan de testfase toegevoegd, omdat dit programma als plug-in werkt en daarmee verschilt van de andere, die zelfstandige applicaties of webgebaseerde oplossingen zijn.

Om de praktijktests grondig voor te bereiden, werden handleidingen, webinars en online demonstraties doorgenomen. Daarnaast werden vragensessies gehouden met vertegenwoordigers van de softwareleveranciers. De vier geselecteerde programma's werden vervolgens getest op twee projecten van Group Jansen: Hotel Panquin en Brouwerij Alken-Maes. De resultaten van deze tests werden gedocumenteerd, samengevat en besproken met de BIM-afdeling. Op basis van deze evaluatie kwam Leica Cyclone 3DR naar voren als de meest geschikte oplossing. Dit is voornamelijk te danken aan de stabiliteit van de software bij het werken met grote puntenwolken en de goede prijs in verhouding tot de uitgebreide functionaliteit.

Om de implementatie te ondersteunen, werden instructievideo's opgesteld die de werking van Cyclone 3DR stap voor stap toelichten. Twee BIM-specialisten van Group Jansen leerden de software zelfstandig aan op basis van deze video's en evalueerden het gebruiksgemak met behulp van de System Usability Scale (SUS). De behaalde SUS-score van 91 duidt op een uitstekende gebruiksvriendelijkheid.

Uit het onderzoek blijkt dat Leica Cyclone 3DR de meest geschikte software is. Door de geautomatiseerde vergelijking, objectherkenning met artificiële intelligentie en volumeberekening worden niet alleen de resultaten nauwkeuriger, maar wordt ook een aanzienlijke tijdswinst geboekt. Cyclone 3DR levert daarmee een directe meerwaarde voor het BIM-proces binnen het bedrijf.

4. Reflectie

4.1 Succescriteria aftoetsen aan gerealiseerd eindproduct

Testen van het eindproduct binnen het bedrijf

Hoe is het product getest binnen het bedrijf?

Om de gebruiksvriendelijkheid en praktische toepasbaarheid van het eindproduct te evalueren, werd het getest door twee BIM-specialisten binnen de BIM-afdeling van Group Jansen. Zij kregen geen extra mondelinge toelichting of individuele begeleiding, maar maakten enkel gebruik van de opgestelde instructievideo's die geïntegreerd zijn in de samenvattende presentatie. Deze twee medewerkers werden bewust gekozen, omdat zij het vaakst werken met puntenwolken binnen het bedrijf en de software in de toekomst ook effectief zullen gebruiken. Aangezien beide gebruikers vooraf geen ervaring hadden met het programma, kon de leercurve en de bruikbaarheid van de instructievideo's op een realistische manier worden geëvalueerd.

Wat waren de resultaten?

Uit de test bleek dat beide BIM-specialisten in staat waren om de software zelfstandig aan te leren met behulp van enkel de instructievideo's. Ze konden zonder bijkomende hulp:

- Navigeren in de software,
- Een vergelijking uitvoeren en de bijhorende parameters instellen,
- Een limit box aanmaken om specifieke zones te analyseren,
- Notities toevoegen op relevante plaatsen in het model,
- De resultaten van de vergelijking grafisch weergeven,
- Automatisch rapporten genereren en bewerken.

De gebruikers gaven aan dat de video's duidelijk opgebouwd waren en dat de inhoud logisch gestructureerd was. Volgens de SUS-score, berekend via de evaluatietabel, scoorde de gebruiksvriendelijkheid hoog met een SUS-score van 91. Dit bevestigde dat het eindproduct niet alleen voldeed aan de technische eisen, maar ook effectief inzetbaar is binnen de BIM-afdeling van Group Jansen.

Verbeteringsmogelijkheden

Uitbreiding van het aantal praktijktests en het aantal onderzochte softwareprogramma's

Een eerste mogelijkheid tot verbetering is de uitbreiding van het aantal tests en softwareprogramma's. Momenteel zijn de drie best scorende programma's, CloudCompare, Leica Cyclone 3DR en Cintoo Cloud, getest op twee projecten van Jansen Building Projects. Daarnaast is op aanvraag van Group Jansen ook Undet meegenomen in de praktijktests. Door meer testlocaties en extra programma's in de evaluatie op te nemen, kunnen meerdere variabelen in rekening worden gebracht, zoals verschillen in projecttypes, bouwomstandigheden en de omvang van de projecten. Dit zou helpen om bredere conclusies te trekken en een beter inzicht te krijgen in de toepasbaarheid van de software in diverse situaties.

Daarnaast zou het toevoegen van extra softwareprogramma's zorgen voor een vollediger beeld van de beschikbare opties op de markt, waardoor de uiteindelijke aanbeveling nog beter onderbouwd kan worden.

Uitbreiding van de criteria

Daarnaast kan de lijst met beoordelingscriteria worden uitgebreid. Op dit moment ligt de focus voornamelijk op functionaliteit, installatievereisten en kostprijs, maar aanvullende criteria zoals de stabiliteit van de software en de frequentie van updates door de fabrikant kunnen een beter beeld geven van de betrouwbaarheid op lange termijn. Door deze extra factoren mee te nemen in de evaluatie, kan de softwarekeuze beter worden afgestemd op de behoeften van Group Jansen en andere bedrijven in de bouwsector.

Aftoetsen aan de succescriteria

Een marktonderzoek doen van minstens acht verschillende programma's die een puntenwolk kunnen vergelijken met een model.

Dit criterium is ruimschoots behaald, aangezien er in totaal twaalf softwareprogramma's zijn onderzocht die een puntenwolk kunnen vergelijken met een BIM-model. Hierdoor is niet alleen voldaan aan de minimale eis, maar is er ook een breder inzicht verkregen in de beschikbare softwareoplossingen. Dit uitgebreide onderzoek draagt bij aan een beter onderbouwde selectie van de meest geschikte programma's.

Van de onderzochte software worden minstens vier criteria besproken. Group Jansen kent aan elk criterium een wegingsfactor toe, zodat de software op een objectieve en gestandaardiseerde manier kan worden beoordeeld. Op basis van deze beoordeling wordt voor elk programma een score op 100 berekend.

Voor elk onderzocht softwareprogramma zijn minimaal vier criteria geëvalueerd. In totaal zijn zeven criteria beoordeeld, waarbij Group Jansen aan elk criterium een wegingsfactor heeft toegekend. Dit zorgt voor een gestandaardiseerde en objectieve vergelijking tussen de verschillende programma's. De uiteindelijke score op 100 is berekend op basis van deze wegingsfactoren. Figuur 1 geeft een overzicht van de gehanteerde criteria, de toegewezen wegingsfactoren en de methode waarmee de software is beoordeeld om tot een totaalscore te komen.

Criteria	Wegingsfactor	Beoordeling	Score
Installatievereisten	5%	Niet beschikbaar in België	0%
		Werkt op de huidige hardware	100%
Type programma	20%	Plugin	100%
		Applicatie	75%
		Internetpagina	50%
Functionaliteit	40%	Vergelijkingssoftware	80%
		Objectherkenning	15%
		Volumeberekeningen	5%
		Extra functionaliteit	(2%)
Ondersteunde puntenwolkformaten	0%	Ondersteuning van .e57 en .rcp	100%
Testversie	10%	Duur van de testversie	Percentage t.o.v. de stageperiode
Ondersteuning	10%	Geen ondersteuning	0%
		Beperkte ondersteuning	35%
		Zelfstandig te leren	100%
Kostprijs en licentieopties	15%	Kostprijs < €5000/jaar	100%

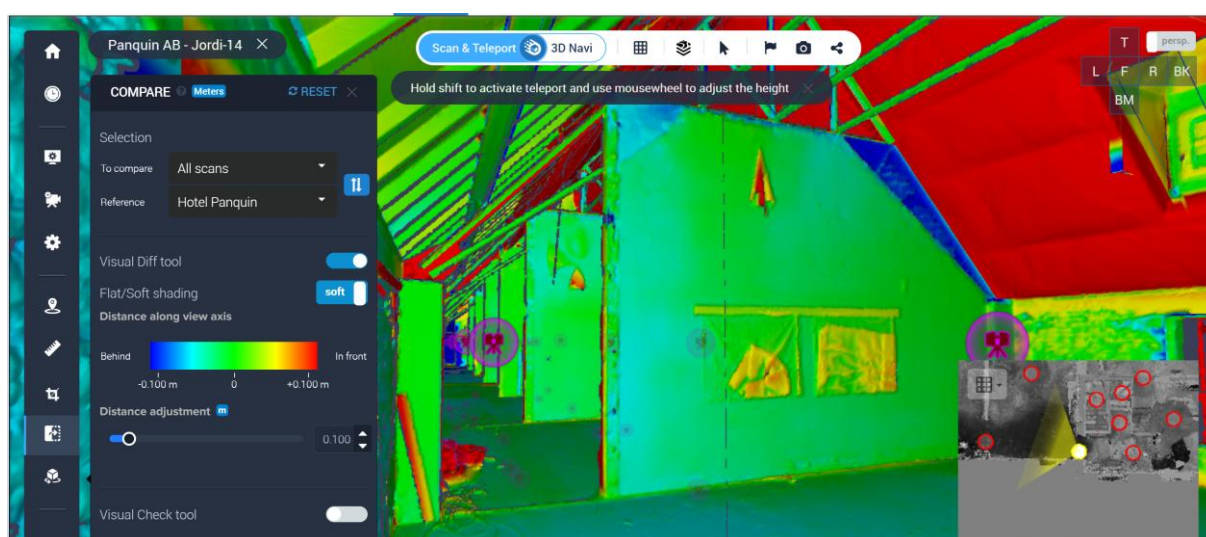
Figuur 1: Beoordeling van de software

De drie softwareprogramma's met de hoogste score worden getest op minstens twee verschillende werven van Jansen Building Projects.

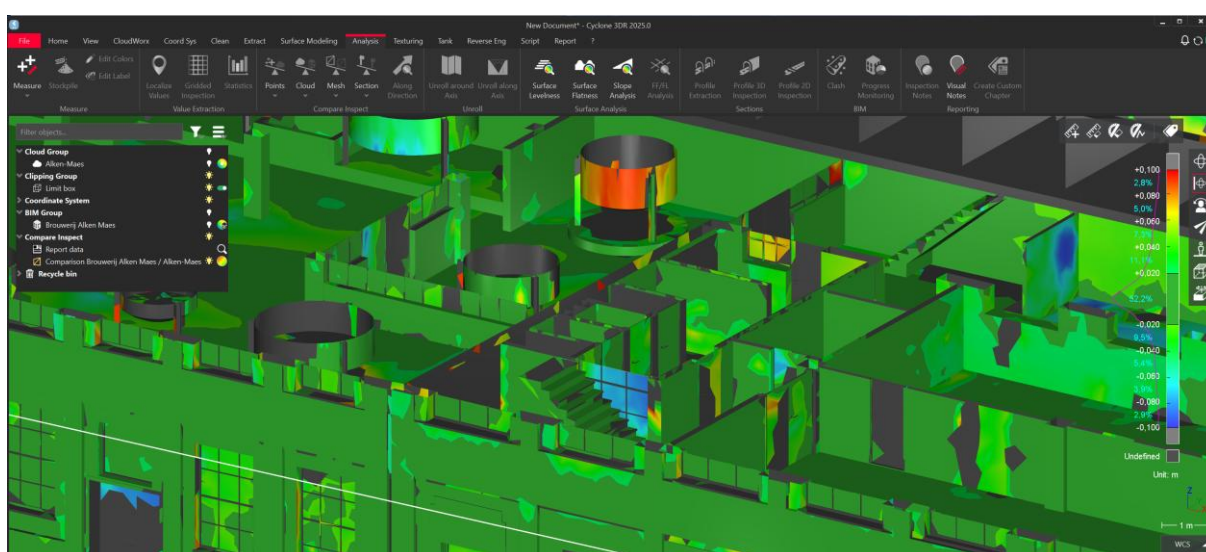
Dit succescriterium is behaald, aangezien de drie hoogst scorende softwareprogramma's, CloudCompare, Leica Cyclone 3DR en Cintoo Cloud, zijn getest op de projecten Hotel Panquin en Brouwerij Alken-Maes. Daarnaast is op aanvraag van Group Jansen ook Undet meegenomen in de praktijktests, waardoor in totaal vier softwareprogramma's zijn geëvalueerd.

De geselecteerde testlocaties zijn bewust gekozen om de software onder verschillende omstandigheden te beoordelen. Hotel Panquin is een gestript gebouw zonder meubels, deuren of andere obstakels en bestaat voornamelijk uit grote open ruimtes. Brouwerij Alken-Maes daarentegen heeft een complexe binnenstructuur met veel technische installaties, vaten, niveauverschillen en kleine kamers. Door de software op deze uiteenlopende omgevingen te testen, is de betrouwbaarheid en toepasbaarheid beter geëvalueerd binnen verschillende scenario's die relevant zijn voor Group Jansen.

Het resultaat van de test met Cintoo Cloud op Hotel Panquin is weergegeven in Figuur 2, terwijl het resultaat van de test met Cyclone 3DR op Brouwerij Alken-Maes te zien is in Figuur 3.



Figuur 2: Resultaat van Hotel Panquin met Cintoo Cloud



Figuur 3: Resultaat van Brouwerij Alken-Maes met Cyclone 3DR

Feedback van minstens twee gebruikers binnen Group Jansen verzamelen over de gebruiksvriendelijkheid en toepasbaarheid van de geselecteerde software.

Om na te gaan hoe gebruiksvriendelijk en praktisch inzetbaar Leica Cyclone 3DR is, werd de software getest door twee BIM-specialisten van Group Jansen. Zij werden bewust gekozen, omdat zij het vaakst met puntenwolken werken en dus ook de uiteindelijke gebruikers zullen zijn van de gekozen oplossing.

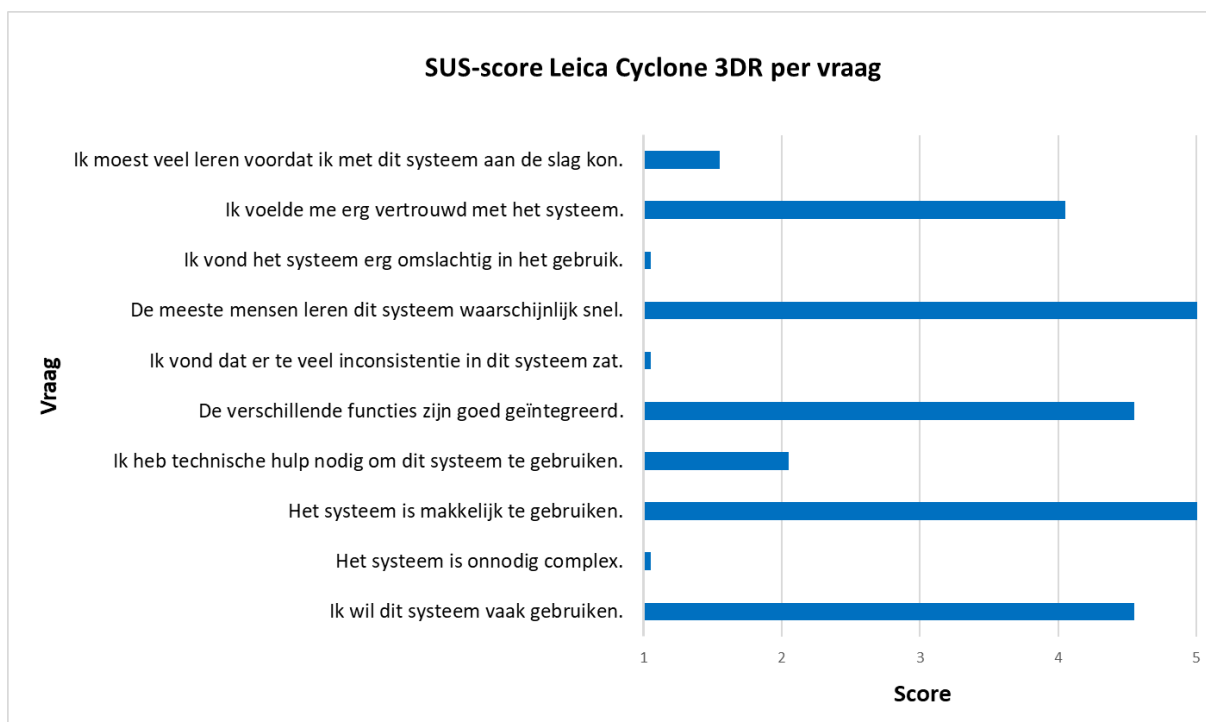
Tijdens de testfase kregen beide gebruikers de opdracht om zelfstandig een reeks acties uit te voeren in Leica Cyclone 3DR, waaronder het vergelijken van een puntenwolk met een BIM-model, het instellen van parameters en het genereren van een automatische rapportage. Er werd bewust voor gekozen om geen mondelinge toelichting of individuele begeleiding te voorzien. De gebruikers maakten uitsluitend gebruik van de opgestelde instructievideo's, die geïntegreerd zijn in de samenvattende presentatie. Op deze manier kon nagegaan worden in welke mate het eindproduct in zijn huidige vorm als zelfstandig bruikbaar wordt ervaren.

Om de gebruikservaring te beoordelen, werd de System Usability Scale ingezet. Deze schaal werd oorspronkelijk ontwikkeld door John Brooke [14] en is sindsdien uitgegroeid tot een van de meest toegepaste evaluatiemethoden in gebruiksvriendelijkheidsonderzoek [15]. SUS laat toe om op snelle, eenvoudige en betrouwbare wijze een algemeen oordeel te vormen over de bruikbaarheid van een systeem. De schaal bestaat uit tien stellingen die afwisselend positief en negatief zijn geformuleerd. Deelnemers beoordelen elke stelling op een Likertschaal van 1 (helemaal oneens) tot 5 (helemaal eens) [16].

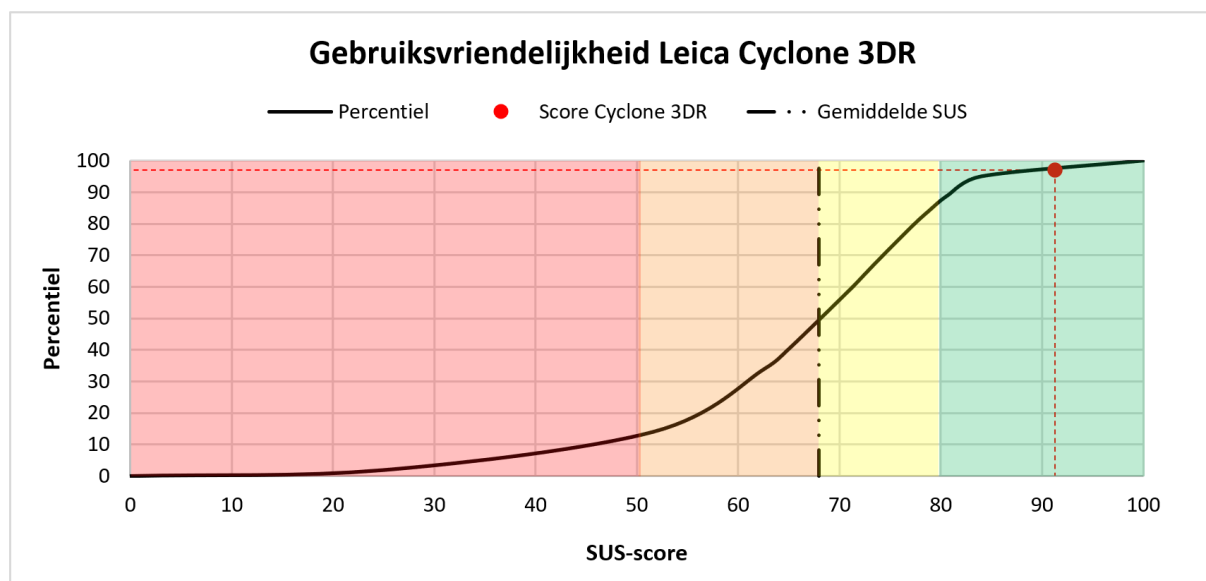
De ingevulde SUS-tabel is weergegeven in Figuur 4. De gemiddelde score per vraag is te raadplegen in Figuur 5, wat inzicht geeft in welke aspecten van de software als gebruiksvriendelijk werden ervaren en waar eventuele verbeterpunten liggen. Tot slot wordt het eindresultaat van de gebruikservaring, namelijk de berekende totaalscore op de SUS-schaal, weergegeven in Figuur 6. Een totaalscore boven de 68 wordt beschouwd als bovengemiddeld gebruiksvriendelijk [17]. Met een totaalscore van 91 ligt deze score ruim boven die drempel, wat wijst op een zeer positieve gebruikerservaring met Leica Cyclone 3DR in combinatie met de gemaakte instructievideo's binnen de testomgeving van Group Jansen. Het succescriterium is hiermee behaald.

Vraag	Helemaal oneens	Oneens	Neutraal	Eens	Helemaal eens
Ik wil dit systeem vaak gebruiken.	☐	☐	☐	☒	☐
Het systeem is onnodig complex.	☒	☐	☐	☐	☐
Het systeem is makkelijk te gebruiken.	☐	☐	☐	☐	☒
Ik heb technische hulp nodig om dit systeem te gebruiken.	☐	☒	☐	☐	☐
De verschillende functies zijn goed geïntegreerd.	☐	☐	☐	☒	☐
Ik vond dat er te veel inconsistentie in dit systeem zat.	☒	☐	☐	☐	☐
De meeste mensen leren dit systeem waarschijnlijk snel.	☐	☐	☐	☐	☒
Ik vond het systeem erg omslachtig in het gebruik.	☒	☐	☐	☐	☐
Ik voelde me erg vertrouwd met het systeem.	☐	☐	☐	☒	☐
Ik moest veel leren voordat ik met dit systeem aan de slag kon.	☐	☒	☐	☐	☐

Figuur 4: Ingaven van de System Usability Scale door Jeroen Ceysens (BIM-specialist)



Figuur 5: Gemiddelde SUS-score per vraag



Legende	
	Onbruikbaar
	Slecht
	Goed
	Uitstekend

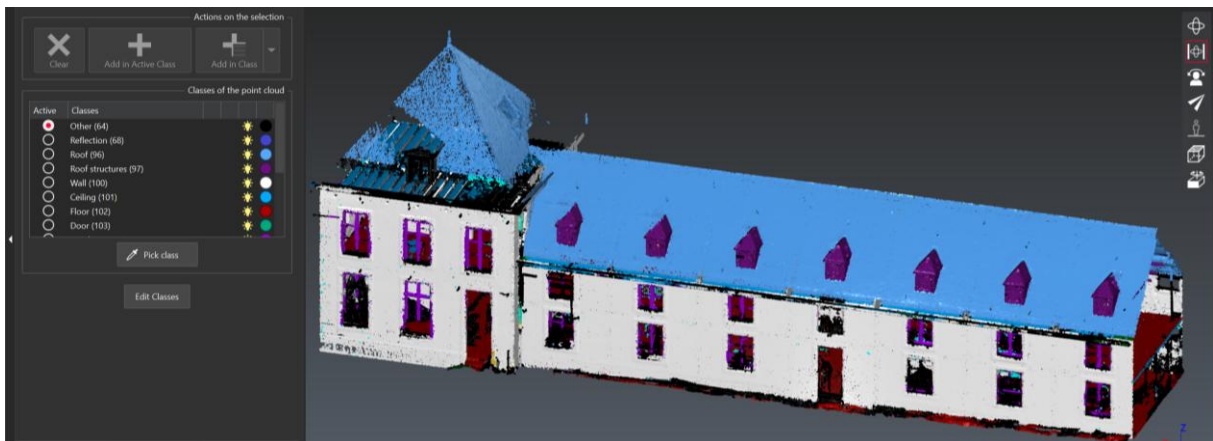
Figuur 6: Grafische weergave van de berekende totaalscore van de gebruiksvriendelijkheid

Minstens één softwareprogramma voor automatische objectherkenning testen en vergelijken met de huidige handmatige methode.

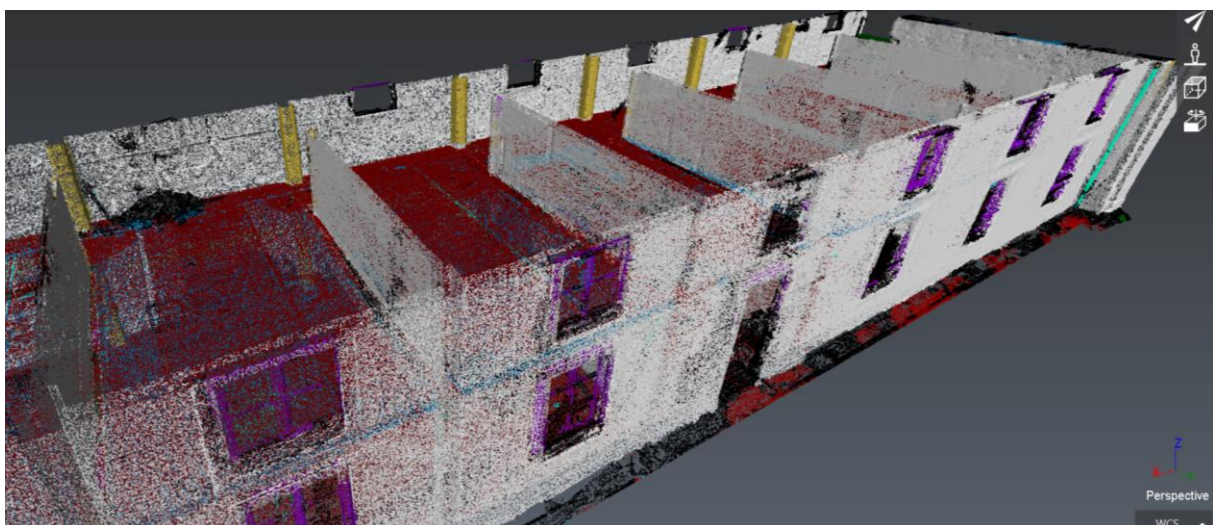
Dit succescriterium is behaald door Leica Cyclone 3DR te testen als softwareoplossing voor automatische objectherkenning van puntenwolken. Dankzij de ondersteuning van artificiële intelligentie (AI) en geïntegreerde machine learning-algoritmen kan Cyclone 3DR diverse bouwkundige en technische elementen zoals wanden, vloeren, kolommen, ramen, deuren, technische installaties en zelfs vegetatie automatisch herkennen binnen een puntenwolk.

De software classificeert de punten in verschillende categorieën op basis van hun geometrische eigenschappen. Elke herkende categorie krijgt daarbij een unieke kleur, waardoor de visuele interpretatie wordt vergemakkelijkt. Het resultaat van de objectherkenning op de puntenwolk van Hotel Panquin is weergegeven in Figuur 7 en Figuur 8.

Een belangrijk voordeel ten opzichte van de traditionele handmatige methode is de mogelijkheid om de geclassificeerde puntenwolk op te splitsen in kleinere puntenwolken per categorie. Deze afzonderlijke puntenwolken kunnen vervolgens in Revit selectief ingeladen worden. Zo kan een modelleur er bijvoorbeeld voor kiezen om enkel de vloerpunten te laden wanneer het vloermodel wordt opgebouwd. Op die manier hoeft niet de volledige, zware puntenwolk tegelijk geladen te worden.



Figuur 7: Objectherkenning Hotel Panquin exterieur



Figuur 8: Objectherkenning Hotel Panquin interieur

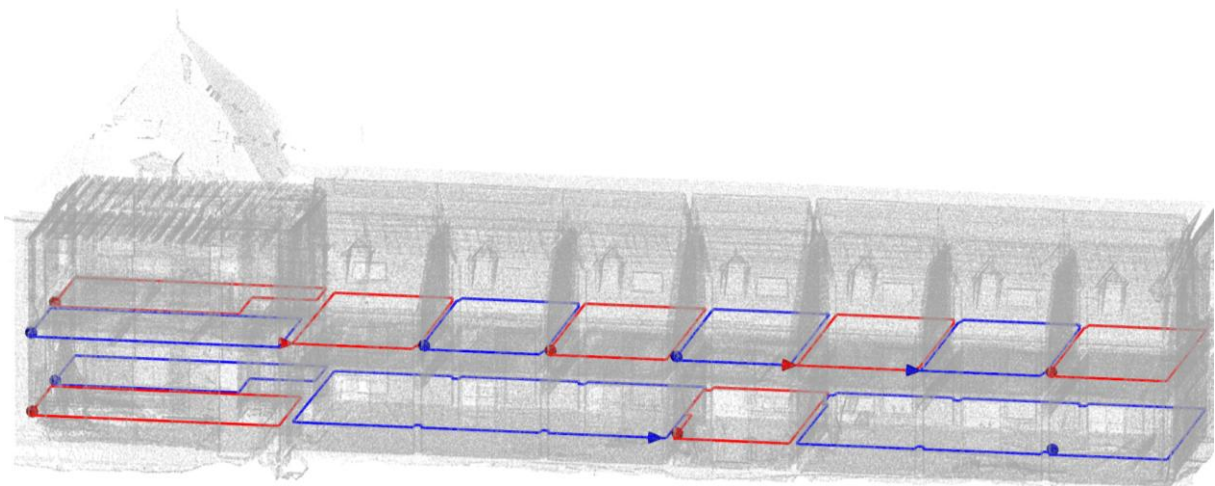
Testen van minstens één programma voor volumeberekeningen en vergelijken met de BIM-gebaseerde berekening en de effectief gebruikte hoeveelheden.

Na een marktonderzoek en meerdere contacten met softwareleveranciers werd vastgesteld dat er op dit moment geen enkel programma beschikbaar is dat geschikt is voor de specifieke toepassing binnen Group Jansen. Het gaat hierbij om het berekenen van het chapevolume op basis van een puntenwolk zonder referentieoppervlak. De uitdaging is dat het gewenste niveau waarnaar gemeten moet worden in werkelijkheid nog niet bestaat. Daardoor ontbreken er ook meetpunten in de puntenwolk die dit niveau aanduiden.

Er zijn alternatieve methodes onderzocht waarbij een mesh wordt gegenereerd op basis van het vloeroppervlak. Een mesh is een netwerk van onderling verbonden driehoeken dat een 3D-oppervlak benadert op basis van de punten in een puntenwolk [18]. In de praktijk blijkt dit echter onvoldoende betrouwbaar te zijn. Door blinde vlekken in de scan, waterplassen, afval of obstakels ontstaan onvolledige of vervormde meshes. Dit leidt tot foutieve volumeberekeningen die niet bruikbaar zijn voor uitvoering.

Omdat er geen externe software gevonden werd die deze specifieke taak nauwkeurig en betrouwbaar kan uitvoeren, werd verder gezocht naar mogelijkheden binnen Cyclone 3DR. Deze software werd al succesvol gebruikt als vergelijkingssoftware en voor objectherkenning. Hierdoor blijven alle toepassingen binnen één softwareomgeving, wat de interne werking vereenvoudigt.

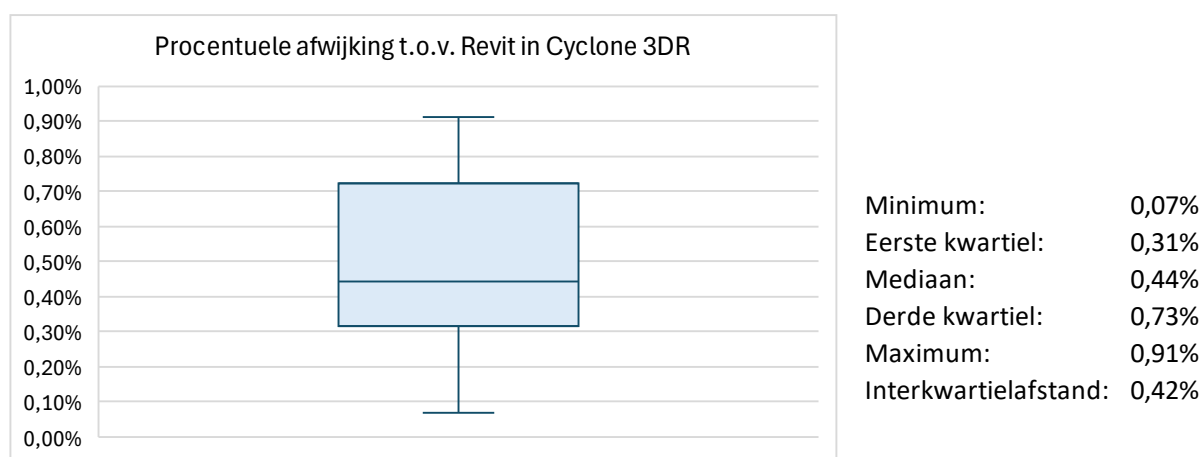
Binnen Cyclone 3DR werd uiteindelijk een alternatieve methode uitgewerkt waarbij automatisch de contouren van elke ruimte of verdieping worden gegenereerd als een gesloten lijn. Op basis van deze contouren wordt de oppervlakte automatisch berekend. Door deze oppervlakte vervolgens te vermenigvuldigen met de gewenste dikte, kan het volume indirect bepaald worden. Hoewel deze aanpak geen rekening houdt met oneffenheden in de ondergrond, levert ze wel een resultaat op dat nauwkeurig aansluit bij de werkelijke toestand. De automatisch gegenereerde omtrek per kamer is weergegeven in Figuur 9.



Figuur 9: Automatisch gegenereerde omtrek per kamer bij Hotel Panquin

Om de nauwkeurigheid van de methode te evalueren, werden de resultaten vergeleken met een BIM-gebaseerde berekening. Er werd ook geprobeerd om de effectief uitgevoerde hoeveelheden op te vragen bij leveranciers, maar deze informatie werd niet verstrekt. Een vergelijking met de werkelijk uitgevoerde hoeveelheid was daarom niet mogelijk.

Uit de vergelijking met het BIM-model blijkt dat Cyclone 3DR systematisch een lichte overschatting maakt. De mediaan bedraagt 0,44 procent en is gebaseerd op 14 vergelijkingen. Deze afwijking ontstaat doordat de software werkt met het gemiddelde van de aanwezige punten, bijvoorbeeld van een muur, terwijl BIM-modelleurs modelleren aan de binnenzijde van de puntenwolk. De afwijking blijft in alle gevallen onder één procent. De boxplot in Figuur 10 geeft een overzicht van de spreiding van de afwijkingspercentages.



Figuur 10: Nauwkeurigheid van de oppervlakte

Daarnaast werden op verschillende werven gesprekken gevoerd met werfleiders en projectleiders over de werkwijze rond chape. Hieruit bleek dat chape in de praktijk vrijwel altijd per vierkante meter wordt aangerekend, en niet per kubieke meter. De gekozen methode, die vertrekt vanuit oppervlaktes in plaats van volumes, sluit dus nauw aan bij de praktijk.

Conclusie volumeberekeningen

Hoewel een vergelijking met de werkelijk uitgevoerde hoeveelheden niet mogelijk was door het ontbreken van gegevens van leveranciers, biedt de alternatieve methode binnen Cyclone 3DR een bruikbaar en betrouwbaar alternatief. De afwijking ten opzichte van het BIM-model is beperkt en bedraagt minder dan één procent, wat wijst op een hoge nauwkeurigheid. Bovendien sluit de gekozen werkwijze goed aan bij de praktijk op de werf, waar chape doorgaans per vierkante meter wordt afgerekend.

4.2 Toetsen van het product aan de sector: wat is de meerwaarde van je onderzoek?

Bedrijfsspecifieke elementen

De ontwikkelde geautomatiseerde Excel-tabel en samenvattende presentatie zijn primair ontworpen voor gebruik binnen Group Jansen, maar kunnen met enkele aanpassingen ook breder in de bouwsector worden ingezet. De tabel is niet beperkt tot software voor het vergelijken van puntenwolken met BIM-modellen, maar kan in principe dienen als evaluatie-instrument voor allerlei soorten toepassingen. Dit maakt het een nuttig hulpmiddel voor aannemers, ingenieursbureaus en architecten die softwaretoepassingen willen beoordelen op basis van hun specifieke behoeften.

Bepaalde aspecten van de vergelijkende tabel zijn echter afgestemd op de interne werkwijze en prioriteiten van Group Jansen. Zo zijn de beoordelingscriteria en wegingsfactoren in samenspraak met het bedrijf vastgelegd, waardoor zij hun specifieke voorkeuren weerspiegelen. Dit maakt dat bedrijven met een andere focus, zoals landmeetkundige bureaus of architecten, mogelijk andere criteria en wegingsfactoren willen hanteren. Doordat de tabel zo is ontworpen dat deze flexibel kan worden aangepast, kunnen andere bedrijven eenvoudig hun eigen prioriteiten instellen en zo een objectieve vergelijking maken op basis van hun specifieke eisen. Hierdoor is het product niet beperkt tot Group Jansen en kan het een bredere toepassing vinden binnen de sector.

Verdere ontwikkelingsmogelijkheden

Een verdere ontwikkeling die de bruikbaarheid kan vergroten, is het ombouwen van de Excel-tabel naar een interactieve webapplicatie. Dit zou bedrijven de mogelijkheid bieden om software eenvoudig online te vergelijken zonder handmatige gegevensinvoer in een rekenblad. Bovendien kan een webapplicatie integreren met databases van softwareleveranciers, waardoor updates over nieuwe versies en functionaliteiten direct beschikbaar zijn. Dit zou het evaluatieproces verder optimaliseren en bedrijven helpen sneller en efficiënter een geschikte softwareoplossing te selecteren.

Daarnaast kan de samenvattende presentatie worden uitgebreid met aanvullende trainingsmodules. Momenteel bevat de presentatie instructievideo's die de werking van de software toelichten, maar een interactief trainingsplatform met oefenopdrachten en testcases zou de implementatie binnen bedrijven verder kunnen versnellen. Dit zou niet alleen Group Jansen, maar ook andere bedrijven helpen bij een soepele overstap naar nieuwe software.

Tot slot zou het product verrijkt kunnen worden met een meertalige versie van de presentatie en instructievideo's, zodat het ook bruikbaar wordt buiten de Nederlandstalige context. Dit opent mogelijkheden richting internationale bedrijven, opleidingen en conferenties.

Conclusie

De ontwikkelde producten bieden binnen Group Jansen een grote meerwaarde, maar hebben ook duidelijke potentie voor gebruik in een bredere context binnen de bouwsector. De algemene structuur en methodiek van de presentatie en de vergelijkende tabel zijn breed inzetbaar. Wel zijn bepaalde onderdelen, zoals de geselecteerde beoordelingscriteria en de focus op specifieke functies van Cyclone 3DR, afgestemd op de noden van Group Jansen. Andere bedrijven zouden deze onderdelen moeten aanpassen om volledige aansluiting te vinden bij hun eigen werkwijze.

Met beperkte inspanningen kunnen de producten dus breder worden ingezet. Het onderzoek biedt niet alleen een directe oplossing voor de vraag van Group Jansen, maar ook een nuttige basis die verdere innovatie binnen de sector kan ondersteunen.

4.3 SDG's aftoetsen

De relatie tussen optimalisatie van puntenwolken in de bouwsector en de sustainable development goals (SDG's)

SDG 8: Waardig werk en economische groei

Door het testen en implementeren van vergelijkingssoftware wordt het werkproces geoptimaliseerd. Repetitieve en tijdrovende taken, zoals manuele controle van modellen, worden vervangen door geautomatiseerde processen. Dit verhoogt de efficiëntie en productiviteit, waardoor medewerkers zich kunnen toeleggen op meer complexe en waardevolle taken. De introductie van innovatieve tools draagt zo bij aan kwalitatief en toekomstgericht werk.

SDG 9: Industrie, innovatie en infrastructuur

Het onderzoek focust op de toepassing en optimalisatie van puntenwolksoftware binnen BIM-gestuurde bouwprocessen. Dit stimuleert technologische innovatie in een traditionele sector. Door software te selecteren die puntenwolkdata accuraat kan analyseren en vergelijken met BIM-modellen, wordt niet alleen de nauwkeurigheid verhoogd, maar wordt ook het bouwproces gemoderniseerd. De integratie van deze digitale tools ondersteunt de verdere digitalisering van de bouwsector.

SDG 12: Verantwoorde consumptie en productie

De implementatie van vergelijkingssoftware voorkomt onnodige verspilling in de bouwsector. Een concreet voorbeeld hiervan binnen Group Jansen is de productie en plaatsing van klimaatplafonds. Door het vergelijken van de puntenwolk met het BIM-model kunnen afwijkingen tussen het ontwerp en de werkelijkheid tijdig worden opgespoord, waardoor foutieve bestellingen en verspilling van materialen worden voorkomen.

Potentiële uitbreidingen naar andere SDG's

SDG 11: Duurzame steden en gemeenschappen

Puntenwolksoftware kan ook buiten de bouwsector een belangrijke rol spelen, bijvoorbeeld in het verbeteren van de toegankelijkheid van stedelijke infrastructuur. Door automatisch obstakels en oneffenheden in voetpaden te detecteren, kunnen steden inclusiever en veiliger worden ingericht [19]. Aan deze SDG had dan ook gewerkt kunnen worden, mits aanpassingen aan het concept van deze bachelorproef, waarbij de focus zou liggen op de inzet van puntenwolken binnen stedelijke planning en publieke ruimte in plaats van binnen BIM-processen.

SDG 13: Klimaatactie

Door het gebruik van vergelijkingssoftware en volumeberekeningen op basis van puntenwolkdata, draagt het onderzoek bij aan het vermijden van fouten. Dit verlaagt de kans op materiaalverspilling en de ecologische impact van bouwprojecten. Als het onderzoek explicieter gericht was geweest op CO₂-reductie, bijvoorbeeld door verspilling meetbaar te koppelen aan emissiegegevens, had de link met klimaatactie en SDG 13 sterker onderbouwd kunnen worden.

Behaalde subdoelstellingen

SDG 8: Waardig werk en economische groei

Subdoelstelling 8.2: Tot meer economische productiviteit komen door diversificatie, technologische modernisatie en innovatie, ook door de klemtoon te leggen op sectoren met hoge toegevoegde waarde en arbeidsintensieve sectoren.

Automatisering van puntenwolkverwerking vermindert repetitief handwerk, waardoor medewerkers zich kunnen richten op complexe taken. Hierdoor stijgt de productiviteit en verschuift het takenpakket van medewerkers naar meer analytisch en technisch werk, met meer toegevoegde waarde.

SDG 9: Industrie, innovatie en infrastructuur

Subdoelstelling 9.1: Ontwikkelen van kwalitatieve, betrouwbare, duurzame en veerkrachtige infrastructuur, met inbegrip van regionale en grensoverschrijdende infrastructuur, ter ondersteuning van de economische ontwikkeling en het menselijk welzijn, met klemtoon op een betaalbare en billijke toegang voor iedereen.

Door het verhogen van de precisie in ontwerpcontrole en uitvoering wordt bijgedragen aan de creatie van robuustere en betrouwbaardere infrastructuurprojecten.

Subdoelstelling 9.4: Tegen 2030 de infrastructuur moderniseren en industrieën aanpassen om hen duurzaam te maken, waarbij de focus ligt op een grotere doeltreffendheid bij het gebruik van hulpbronnen en van schonere en milieuvriendelijke technologieën en industriële processen, waarbij alle landen de nodige actie ondernemen volgens hun eigen respectieve mogelijkheden.

Het selecteren en implementeren van betere software draagt bij aan de verdere digitalisering van bouwprocessen, het vermindert fouten en verhoogt de efficiëntie.

Subdoelstelling 9.b: Ondersteunen van de binnenlandse technologische ontwikkeling, onderzoek en innovatie in ontwikkelingslanden, ook door een gunstig beleidsklimaat te garanderen voor onder andere industriële diversificatie en waardetoevoeging aan handelsproducten.

De instructievideo's en praktijktests binnen Group Jansen vergroten de technische capaciteiten van medewerkers, wat belangrijk is voor de adoptie van nieuwe technologieën in de sector.

SDG 12: Verantwoorde consumptie en productie

Subdoelstelling 12.5: Tegen 2030 de afvalproductie aanzienlijk beperken via preventie, vermindering, recyclage en hergebruik.

Dankzij vergelijkingsoftware kunnen afwijkingen tussen ontwerp en uitvoering vroegtijdig worden gedetecteerd. Dit voorkomt dat foutief geprefabriceerde onderdelen, zoals klimaatplafonds of maatwerkmeubilair, onbruikbaar worden en als afval eindigen. Door deze optimalisatie wordt materiaalverspilling verminderd en worden hulpbronnen efficiënter benut, wat bijdraagt aan een duurzamer beheer van hulpbronnen.

4.4 Reflectie over proces bachelorproef

Fase 1: concreet ervaren

Tijdens mijn bachelorproef onderzocht ik hoe het gebruik van puntenwolken bij Group Jansen verder geoptimaliseerd kon worden. Ik focuste me op drie thema's: vergelijkingssoftware, automatische objectherkenning en het berekenen van volumes. Van bij de start was het duidelijk dat het niet enkel om een theoretische studie ging, maar dat mijn werk ook effectief toepasbaar moest zijn binnen het bedrijf. Het volledige traject lag in mijn handen: van marktonderzoek en selectie van software tot praktijktests, resultatenanalyse en het opleveren van een visueel eindproduct in de vorm van een samenvattende presentatie met instructievideo's.

Het gaf me veel voldoening om zelf richting te geven aan het onderzoek en echt een verschil te maken, maar het bracht ook druk met zich mee. Vooral bij het kiezen van de juiste software voelde ik spanning. Ik wist dat mijn aanbeveling een directe impact zou hebben op de werking van de BIM-afdeling. Toen sommige leveranciers niet reageerden op mijn aanvraag voor testlicenties, veroorzaakte dat onzekerheid. Toch leerde ik hiermee omgaan door mijn aanpak aan te passen. Ik documenteerde alle communicatie en verwerkte deze informatie in mijn beoordeling onder het criterium "ondersteuning". Zo wist ik zelfs uit een negatieve ervaring een bruikbaar evaluatie-instrument te halen.

Een ander uitdagend aspect was het werken met volledig nieuwe software. Omdat ik met de meeste programma's geen ervaring had, moest ik me verdiepen in handleidingen, webinars en deelnemen aan vragensessies met leveranciers. Ik ontdekte snel dat sommige vragen vanuit de praktijk, zoals het automatisch berekenen van chapevolumes zonder referentieniveau, niet opgelost konden worden met een bestaand programma. Hierdoor leerde ik alternatieve werkwijzen opzetten, waarbij ik de beperkingen van de software creatief moest omzeilen binnen het programma zelf.

Ook het maken van instructievideo's verliep niet vlekkeloos. Mijn eerste schermopnamesoftware crashte telkens wanneer ik een grote puntenwolk importeerde, door een te hoge processorbelasting. Door snel te schakelen vond ik een stabiel alternatief. Op dat moment kreeg ik opnieuw het gevoel dat ik controle had over het proces, en dat versterkte mijn vertrouwen.

Het absolute hoogtepunt voor mij was het schrijven van een JavaScript om een geclassificeerde puntenwolk automatisch te exporteren per classificatie. Eerst vond ik het idee om zelf te programmeren erg overweldigend, maar door stap voor stap te werken en continu te testen, slaagde ik erin om een script te schrijven dat effectief inzetbaar was binnen het bedrijf. Het gaf me niet alleen een gevoel van trots, maar toonde me ook dat ik in staat ben om buiten mijn comfortzone te leren en concrete oplossingen aan te reiken.

Fase 2: waarnemen en overdenken

Tijdens deze bachelorproef zette ik een brede waaier aan competenties in. Ik werkte onderzoekend en kritisch, communiceerde professioneel met leveranciers en collega's, en ontwikkelde technische vaardigheden om met gespecialiseerde software aan de slag te kunnen.

Mijn analytisch vermogen bleek essentieel bij het opstellen van de vergelijkende tabel, waarin ik verschillende softwareprogramma's beoordeelde aan de hand van duidelijke criteria en gewichten die ik had bepaald in samenspraak met het bedrijf. Dankzij mijn kennis van statistiek en Excel kon ik resultaten zoals de gebruiksvriendelijkheid en de afwijking bij volumeberekeningen op een overzichtelijke manier visueel voorstellen, bijvoorbeeld via een boxplot. Daardoor kon ik complexe data vertalen naar een duidelijk overzicht dat de besluitvorming ondersteunde.

Een belangrijk sterktepunt was mijn vermogen om zelfstandig te werken. Ik beheerde mijn tijd goed, stelde realistische prioriteiten en voerde taken op een gestructureerde manier uit. Dit hielp me vooral bij het schrijven van het programma in JavaScript. In het begin maakte ik de fout om te grote stukken code in één keer te schrijven, wat resulteerde in frustratie en fouten. Pas toen ik overschakelde op een gefaseerde aanpak, waarbij ik elke stap afzonderlijk testte, begon het vlotter te lopen. Die manier van werken leverde niet alleen een goed eindresultaat op, maar vergrootte ook mijn inzicht in het programmeren zelf.

Mijn voornaamste doel was om tot een betrouwbare en bruikbare aanbeveling te komen die nauw aansluit bij de specifieke noden van Group Jansen. Hier heb ik ook naar gehandeld door regelmatig in overleg te gaan met medewerkers van de BIM-afdeling en hun feedback actief te verwerken in mijn eindproducten. Door de software te testen in twee uiteenlopende projecten, Hotel Panquin en Brouwerij Alken-Maes, kon ik een brede evaluatie maken die relevant is voor de variatie aan opdrachten binnen het bedrijf. In mijn uiteindelijke advies hield ik niet alleen rekening met technische prestaties, maar ook met licentiekost, ondersteuning, gebruiksvriendelijkheid en de mogelijkheid tot toekomstige uitbreiding. Zo stelde ik een onderbouwd advies op dat goed aansloot bij de verwachtingen binnen de BIM-afdeling.

Fase 3: abstracte begripsvorming

Uit deze ervaring leerde ik een aantal fundamentele zaken over mezelf en mijn manier van werken. Zo bleek ik sterk te zijn in het structureren van complexe informatie en het vertalen ervan naar overzichtelijke tabellen, visuele presentaties en instructievideo's. Die vaardigheden zijn volgens mij essentieel in een sector waar steeds meer digitale tools gebruikt worden, maar waar niet iedereen dezelfde technische achtergrond heeft.

Ik ontdekte ook dat ik sneller moet durven schakelen wanneer een bepaalde aanpak niet oplevert wat ik ervan verwacht. Bij het onderdeel over volumeberekeningen bleef ik te lang vasthouden aan het idee dat een externe tool de ideale oplossing zou bieden. Achteraf gezien had ik sneller kunnen overstappen naar een alternatieve werkwijze binnen Cyclone 3DR zelf. Door sneller te schakelen had ik gericht kunnen werken en mijn inspanningen effectiever kunnen inzetten.

Verder leerde ik dat ik soms te vroeg wil starten met nieuwe onderdelen van het onderzoek. Zo begon ik aan het onderdeel rond objectherkenning, terwijl het gedeelte van vergelijkingsoftware nog niet volledig afgerond was. Dat kwam voort uit mijn nieuwsgierigheid en enthousiasme om iets nieuws te leren, maar ik besepte dat het efficiënter is om gefocust probleem per probleem aan te pakken. In de toekomst wil ik daarom een meer gefaseerde werkstructuur hanteren, met duidelijke afbakening van mijlpalen.

Een domein dat ik zeker verder wil verkennen, is automatisering binnen de bouwsector. Het schrijven van een script wakkerde niet alleen mijn interesse aan, maar liet me ook zien hoeveel potentieel er schuilt in het digitaliseren van repetitieve taken. Hier zie ik nog veel kansen voor innovatie.

Fase 4: actief experimenteren

De inzichten die ik tijdens mijn bachelorproef heb opgedaan, wil ik actief inzetten in mijn eerste job. Een belangrijk leerpunt was het belang van duidelijke en toegankelijke communicatie binnen een bouwteam. Ik zag met eigen ogen hoe krachtig visuele hulpmiddelen kunnen zijn om complexe informatie over te brengen. Door het maken van instructievideo's kon ik collega's snel meenemen in een nieuwe werkwijze, wat resulteerde in minder misverstanden en meer betrokkenheid. In mijn toekomstige functie wil ik deze aanpak blijven hanteren. Zo kan ik bijvoorbeeld met een korte video of visueel stappenplan aan uitvoerders tonen hoe een BIM-model correct wordt geraadpleegd op de werf, zodat iedereen op dezelfde manier met de informatie aan de slag gaat.

Daarnaast heeft het technische gedeelte van mijn bachelorproef mijn interesse in automatisering sterk vergroot. Het zelfstandig schrijven van een werkend script om een repetitieve taak te automatiseren gaf me niet alleen voldoening, maar deed me ook inzien hoeveel tijd en fouten er bespaard kunnen worden met de juiste digitale tools. Daarom wil ik mij in de toekomst verder verdiepen in programmeermethodes die toepasbaar zijn binnen de bouwsoftware waarmee ik werk. Mijn doel is om slimme oplossingen te ontwikkelen die het werk van mezelf en mijn collega's efficiënter maken, bijvoorbeeld door repetitieve handelingen te automatiseren of foutgevoelige stappen te ondersteunen met digitale controles.

Mijn concrete acties bestaan uit het verder volgen van opleidingen rond automatisering in de bouw, het opstarten van kleinschalige automatiseringsprojecten binnen mijn team en het blijven inzetten op toegankelijke communicatie via visuele ondersteuning. Door zowel in te zetten op communicatie als op technische verdieping, wil ik mijn professionele ontwikkeling vormgeven en een positieve impact hebben op mijn werkomgeving.

IV. Bronnen en figuren

1. Bronnenlijst

- [1] D. Migilinskas, V. Popov, V. Juocevicius, en L. Ustinovichius, 'The Benefits, Obstacles and Problems of Practical Bim Implementation', *Procedia Eng*, vol. 57, pp. 767–774, jan. 2013.
- [2] USP Marketing Consultancy, 'BIM Q4 2023'. Geraadpleegd: 19 oktober 2024. [Online]. Beschikbaar op: <https://www.usp-research.com/nl/marktrapporten/european-architectural-barometer/bim-in-construction-q4-2023/>
- [3] J. De Geyter, 'INTEGRATIE VAN BIM IN 3D WEBGIS TER ONDERSTEUNING VAN CIRCULAIRE ECONOMIE IN DE BOUWSECTOR', 2020.
- [4] Y. Xu en U. Stilla, 'Toward Building and Civil Infrastructure Reconstruction from Point Clouds: A Review on Data and Key Techniques', *IEEE J Sel Top Appl Earth Obs Remote Sens*, vol. 14, pp. 2857–2885, 2021.
- [5] D. Moon, S. Chung, S. Kwon, J. Seo, en J. Shin, 'Comparison and utilization of point cloud generated from photogrammetry and laser scanning: 3D world model for smart heavy equipment planning', *Autom Constr*, vol. 98, pp. 322–331, feb. 2019.
- [6] Buildwise, 'Laserscanning'. Geraadpleegd: 16 oktober 2024. [Online]. Beschikbaar op: <https://www.buildwise.be/nl/digitale-technologieen-in-de-bouw/laserscanning/>
- [7] 'Onze BIM-aanpak voor een vlotte samenwerking - Group Jansen'. Geraadpleegd: 11 oktober 2024. [Online]. Beschikbaar op: <https://www.groupjansen.com/nl/onze-bim-aanpak/>
- [8] 'Cleanrooms & Labs: onze uitmuntende expertise | Group Jansen'. Geraadpleegd: 16 oktober 2024. [Online]. Beschikbaar op: <https://www.groupjansen.com/nl/cleanrooms-labs/>
- [9] T. Moberg, '6 Things to Know About the Leica RTC360 Before You Buy Your Next Laser Scanner - BIM Learning Center'. Geraadpleegd: 13 november 2024. [Online]. Beschikbaar op: <https://bimlearningcenter.com/6-things-to-know-about-the-leica-rtc360-before-you-buy-your-next-laser-scanner/>
- [10] 'Autodesk Civil 3D Features'. Geraadpleegd: 17 oktober 2024. [Online]. Beschikbaar op: <https://www.autodesk.com/products/civil-3d/features>
- [11] B. Passot, 'Scripts/AlignedClouds-BatchExport/AlignedClouds-BatchExport.js'. Geraadpleegd: 26 mei 2025. [Online]. Beschikbaar op: <https://github.com/Cyclone3DR/Scripts/blob/master/AlignedClouds-BatchExport/AlignedClouds-BatchExport.js>
- [12] 'About GitHub and Git - GitHub Docs'. Geraadpleegd: 26 mei 2025. [Online]. Beschikbaar op: <https://docs.github.com/en/get-started/start-your-journey/about-github-and-git>
- [13] 'Cyclone 3DR Script: SCloud Class Reference'. Geraadpleegd: 26 mei 2025. [Online]. Beschikbaar op: https://cyclone3dr.leica-geosystems.com/help/2025.1/Script/class_s_cloud.html
- [14] J. Brooke, 'SUS: A quick and dirty usability scale'. Geraadpleegd: 17 december 2024. [Online]. Beschikbaar op: https://www.researchgate.net/publication/319394819_SUS_-_a_quick_and_dirty_usability_scale
- [15] Jeff. Sauro, *A Practical Guide to Measuring Usability*. Measuring Usability LLC, 2010.

- [16] P. Laubheimer, 'Beyond the NPS: Measuring Perceived Usability with the SUS, NASA-TLX, and the Single Ease Question After Tasks and Usability Tests'. Geraadpleegd: 3 april 2025. [Online]. Beschikbaar op: <https://www.nngroup.com/articles/measuring-perceived-usability/>
- [17] T. Will, 'Measuring and Interpreting System Usability Scale (SUS) - UIUX Trend'. Geraadpleegd: 7 april 2025. [Online]. Beschikbaar op: <https://uiuxtrend.com/measuring-system-usability-scale-sus/>
- [18] S. Jha, 'A Beginner's Guide to 3D Data: Understanding Point Clouds, Meshes, and Voxels'. Geraadpleegd: 8 mei 2025. [Online]. Beschikbaar op: <https://medium.com/@sanjivjha/a-beginners-guide-to-3d-data-understanding-point-clouds-meshes-and-voxels-385e02108141>
- [19] 'What is point cloud data? A guide for municipal planning | Cyclomedia'. Geraadpleegd: 23 mei 2025. [Online]. Beschikbaar op: <https://www.cyclomedia.com/us/what-is-point-cloud-data>

2. Figurenlijst

Figuur 1: Beoordeling van de software	25
Figuur 2: Resultaat van Hotel Panquin met Cintoo Cloud	26
Figuur 3: Resultaat van Brouwerij Alken-Maes met Cyclone 3DR	26
Figuur 4: Ingaven van de System Usability Scale door Jeroen Ceysens (BIM-specialist)	27
Figuur 5: Gemiddelde SUS-score per vraag	28
Figuur 6: Grafische weergave van de berekende totaalscore van de gebruiksvriendelijkheid.....	28
Figuur 7: Objectherkenning Hotel Panquin exterieur	29
Figuur 8: Objectherkenning Hotel Panquin interieur	29
Figuur 9: Automatisch gegenereerde omtrek per kamer bij Hotel Panquin	30
Figuur 10: Nauwkeurigheid van de oppervlakte.....	31

V. Bijlagen