

PARK EILAND GEBOUW ZWIJNAARDE

Ambitieuze praktijkcase inzake
circulariteit, flexibiliteit en rendabiliteit

BIM en circulariteit

Werkpakket 3

Aanbesteden

Auteurs

Lode Lefevre, Tetiana Lukianova & Alexis Versele, KU Leuven

(Omslagfoto: D+A)

Inhoudsopgave

1. Introductie.....	1
2. Methodologie.....	2
3. Circulariteit doorheen het BIM proces.....	2
4. BIM gedurende de levenscyclus van een gebouw.....	6
5. BIM en neutrale uitwisselingsformaten.....	8
6. BIM en circulaire beoordelingstool.....	12
7. BIM en circulair aanbesteden.....	20
8. Vertaling BIM Parkgebouw.....	23
9. Referenties.....	25

1. Introductie

Achtergrond Parkgebouw POM Oost-Vlaanderen

De POM Oost-Vlaanderen en PMV willen samen met UGent en sogent een Parkgebouw oprichten op het bedrijventerrein Tech Lane Ghent Science Park. Het Parkgebouw, met een bruikbare vloeroppervlakte van ongeveer 10.000m², wordt neergepoot op Eiland Zwijnaarde, op een intussen gesaneerd brownfield. Het gebouw grenst aan de centrale groenzone in het campusgedeelte dat landschappelijk wordt ingericht als rust- en ontmoetingsplek en bedoeld is voor zachte recreatie.

Het Parkgebouw wordt een multifunctioneel gebouw: het moet een aangename ontmoetingsplek worden voor de werknemers van de bedrijven en bezoekers van het bedrijventerrein Tech Lane Ghent. Het gebouw omvat een open dienstenaanbod, zoals restaurant, vergaderruimtes, conference-ruimte, ... in combinatie met een eigen aanbod aan bedrijfsruimte. In het gebouw zal ook de CESPE Innovatie Accelerator gehuisvest worden: een flexibele open onderzoeks- en innovatieomgeving in het domein van (bio)farmaceutische productie, met o.a. laboratoria en stofvrije cleanrooms (CESPE: Centre of Excellence in Sustainable Pharmaceutical Engineering & Manufacturing).

In dit document worden aanbevelingen gedocumenteerd voor een integratie van BIM in het project Parkgebouw Zwijnaarde met een specifieke focus op circulariteit en flexibiliteit. Vooreerst is een definitie van enkele begrippen nodig. Circulariteit is een containerbegrip en dus zijn er veel definities van circulaire economie (CE) in omloop. Echter, doordat dit onderzoek kadert binnen de ‘gerichte call circulaire bouweconomie 2020’ van Vlaanderen Circulair wordt volgende definitie gehanteerd; *Circulair bouwen streeft naar een efficiënt en effectief gebruik van hulpbronnen. Het doel is om economische, sociale én ecologische (meer)waarde te creëren of minstens te behouden. Tijdens het bouwproces worden de bestaande erfenis en toekomstige opportuniteiten eigen aan onze bouwwereld in acht genomen* (Vlaanderen Circulair, 2021).

Flexibel of veranderingsgericht bouwen (OVAM, 2016) heeft eveneens tot doel om de milieu-impact van de bouwsector te verlagen en dat door bij aanvang van projecten te anticiperen op toekomstige veranderingen in verwachtingen en gebruik van het gebouw. Gebouwen die aanpasbaar zijn kunnen hierop beter inspelen en bovendien materiaalcringen beter sluiten.

Het acroniem BIM

Het Belgisch BIM portaal geeft verschillende definities van BIM. Ten eerste, is een bouwinformatiemodel (BIM) een **virtuele weergave** van een bouwwerk. Naast de geometrie van de componenten waaruit het gebouw is samengesteld, bevat het BIM model ook informatie over de objecten zelf.

Een tweede betekenis heeft betrekking op het **modelleren** an-sich of de realisatie van het digitale bouwinformatiemodel (waarbij geometrie en informatie met elkaar verbonden worden. Modelleren houdt dus niet alleen het tekenen in 3D in, maar vooral ook het structureren van de gegevens in het model en de invoer van informatie.

Tot slot rest er nog Building Information Management. Het beheer en de uitwisseling van alle modellen met bijbehorende informatie of informatie daarbuiten wordt gezien als het belangrijkste aspect van BIM. Het gaat erom dat de juiste informatie kan uitgewisseld worden op een gecentraliseerde en liefst geautomatiseerde manier op het juiste moment tijdens de gehele levenscyclus van het gebouw.

Meer algemene informatie is te vinden op het Belgisch BIM Portaal ([link](#)).

2. Methodologie

Het doel van dit document is om aandachtspunten en richtlijnen te destilleren uit de literatuur betreffende BIM, specifiek gericht op circulaire bouwen, resulterend in een verbetering van het BIM proces en de coördinatie ervan. Er ligt een focus op volgende aspecten:

- Behoeften en eisen van belanghebbenden voor het **BIM proces** op basis van circulaire parameters; afspraken BIM-visie document, BIM-protocol en BIM-uitvoeringsplan
- **Modellerings- en exploitatiestrategie** voor BIM gedurende de gehele levenscyclus, specifieke focus **flexibiliteit en einde levensduur**
- Onderzoek naar het gebruik van neutrale uitwisselingsformaten zoals IFC en opzetten **programmatische communicatie** met circulariteit **beoordelingstools** (bv.. de losmaakbaarheidsindex van BCI gebouw, Meetsysteem “circulair bouwen” WTCB/VCB, duurzaamheidsmeter GRO,...)

Het aanbestedingsproces van het Parkgebouw Eiland Zwijnaarde zal bij oplevering van dit document nog niet afgerond zijn. Het finaliseren van de volledige BIM strategie gebeurt normaliter met het opmaken van het BIM-protocol, het BIM uitvoeringsplan en de BIM modelleer afspraken, stappen die dus nog niet doorlopen zullen zijn. Dit document anticipeert op de specifieke behoeften van het project en de BIM-workflow die in de toekomstige stadia zal worden gevolgd.

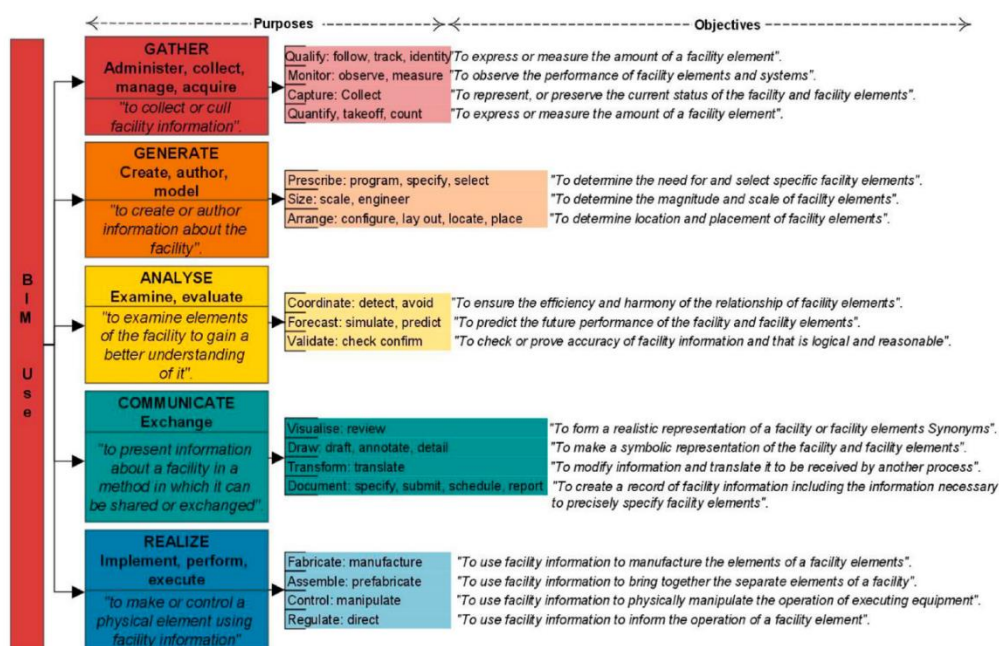
3. Circulariteit doorheen het BIM proces

Circulariteit en Building Information Modeling.

Circulariteit is een containerbegrip. Er zijn uiteenlopende strategieën die de circulariteit van een gebouw of project ten goede kunnen komen. Bij het uitrollen van die strategieën kan BIM een ondersteunende rol vervullen. Het gaat dan vooral om de letter “I” in het acroniem; ‘Informatie’. De

beschikbaarheid van gestructureerde informatie over materialen en gebouw componenten is essentieel voor de transitie van een lineaire naar een circulaire economie. (Heinrich & Lang, 2020).

Er zijn heel wat opportuniteiten waar BIM een meerwaarde kan betekenen voor het circulaire karakter van een bouwproject; zoals overdracht van informatie voor hergebruik bij EoL, flexibiliteitsscenario's documenteren, montage en vooral demontageplannen etc. In het onderzoek van Charef en Emmitt (2021) werden de verschillende gebruiken van BIM voor circulariteit gedocumenteerd. Over het algemeen zijn de gevonden BIM-toepassingen diegene die kunnen worden geïmplementeerd in de plannings-, ontwerp-, constructie- en exploitatie- en onderhoudsfasen. BIM is een gevestigde methode met gekende implementaties en toepassingen (zie figuur 1). Er wordt een opdeling gemaakt in vijf subgroepen; informatieverzameling, -ontwikkeling, -analyse, communicatie en realisatie op basis van de vorige informatiegroepen. Charef en Emmitt lijsten 38 BIM toepassingen op, gebaseerd op interviews en bestaande relevante literatuur.



Figuur 1: BIM-toepassingen, type doelen en ambities (Kreider & Messner, 2013)

De volgende specifieke aspecten verdienen extra aandacht wat betreft circulariteit en worden hieronder toegelicht.

1) Data uitwisseling in projectfase

Het doel van dit BIM-gebruik is om gegevens met alle betrokken stakeholders tijdens de levensduur van het gebouw en materialenlevenscycli te communiceren en uit te wisselen. Het gebruik van een 'common data environment' of CDE helpt bij het overkomen van verschillende barrières; veelheid aan stakeholders, continue updates van informatie en model, juistheid informatie, efficiëntie, etc. Cloud technologieën zijn meestal gekozen vanwege "hun krachtige capaciteiten (uptime), toegankelijkheid en schaalbare opslagcapaciteiten", met name vereist in de context van circulaire economie waar de volledige asset en materiaallevenscycli worden overwogen en moeten worden beheerd (Charef et Emmitt, 2021). Zie verder voor uitgebreide methodologie CDE en samenwerken in BIM.

2) Digitaal model voor End-of-Life (EoL)

Indien BIM gebruikt wordt doorheen de levensduur van het gebouw, kan bij einde levensduur een digitaal *as maintained* model met de gehele geschiedenis van het gebouw afgeleverd worden. Alle informatie die is gegenereerd tijdens de levenscyclus van de asset, grafische of niet-grafische gegevens, moet worden opgeslagen in de gedeelde cloud-gebaseerde database. Het wordt een **DIM-model** genoemd, staande voor *deconstruction-disassembly-demountable-decommissioning* (Charef, 2022). Het model moet alle nodige informatie bevatten om bij einde levensduur het gebouw te demonteren, te recupereren voor hergebruik wat nog functioneel is en lagere R-strategieën toe te passen de voor het restmateriaal (zie verder in dit document voor meer gedetailleerde informatie).

3) Materiaal paspoort & materialenbanken

Aansluitend vormt het materialenpaspoort een cruciaal element om hergebruik bij einde levensduur te faciliteren. Het door Horizon2020 gesubsidieerd BAMB-project (Building as a Material Bank) beschrijft een materialenpaspoort als 'digitale datasets die gedefinieerde eigenschappen van materialen en componenten in producten en systemen beschrijven die waarde geven aan het huidige gebruik, recovery en hergebruik' (BAMB, 2017). De interviews van Charef en Emmitt wezen uit dat beschikbare informatie over materiaaleigenschappen essentieel is voor hergebruik bij einde levensduur.

In het BAMB-project werd een uitvoerig onderzoek verricht naar de noodzakelijke datapunten om op te nemen in een materialenpaspoort. Specifiek onderzoek naar de inhoud van een materialenpaspoort behoort daarom niet tot de scope van het Parkgebouw Zwijnaarde onderzoeksproject. Heinrich & Lang (BAMB, 2019) onderscheiden de parameters in tabel 1 om op te nemen in materialenpaspoorten.

Tabel 1: Op te nemen datapunten in materialenpaspoorten (Heinrich & Lang, BAMB, 2019).

	Toelichting	Sub-factoren
Fysische eigenschappen	Afhankelijk van het type product of materiaal moeten verschillende fysieke aspecten worden opgenomen	Afmetingen, gewicht, massadichtheid, Energie en thermische prestaties, lambda-waarde, thermische massa, absorptie, warmtegeleidings-coëfficiënt, Hygroscopische eigenschappen, Akoestische eigenschappen, Ventilatie & Luchtdichtheid, Daglichttoetreding, Treksterkte, druksterkte, elasticiteitsmoduli, certificeringen
Chemische eigenschappen	Elementaire samenstelling of ingrediënten van een materiaal of product	Chemische samenstelling, Gezondheid en veiligheid, LCA (Emission trading, Resource taks), LCC, SLCA, Material criticality, Recycling & reuse potentieel, levensduur en duurzaamheid, weerstand en stabiliteit
Biologische eigenschappen	Biologische samenstelling	Hernieuwbaar/niet hernieuwbaar, behandeling, composteerbaar, Recycling & reuse potentieel
Gezondheid en veiligheid	Welzijn en gezondheid is belangrijk voor de gebruikers van een gebouw en materiaalkeuzes	CE-markering, onderhoud, product/gebouw certificering en label, gebruikerswelzijn, uitstoot, Material safety data sheet, GHS (Globally Harmonized System of Classification, Labelling and Packaging of Chemicals), CMR (Carcinogenic Mutagen Reprotoxic), SVHC (Substances of very high concern), binnenluchtkwaliteit
Unieke product identificatie	Traceerbaar maken van materialen	Productnaam, producent (land, ondernemingsnummer), artikelnummer producent,

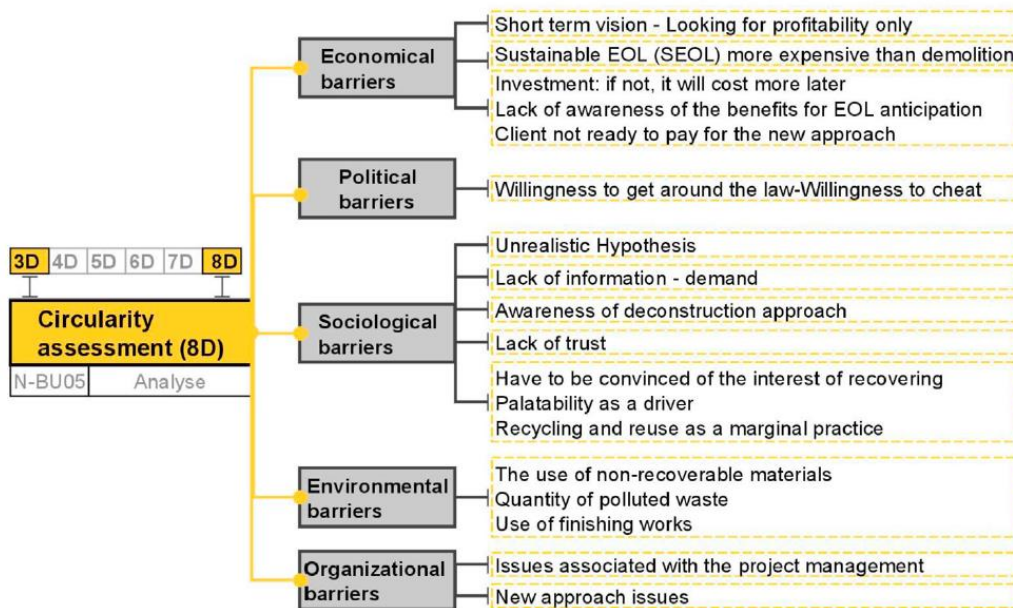
		tijdsinformatie (productiejaar, versie, verwachte levensduur, etc.), EAN nummer, CAS nummer, functionaliteit, technische fiches, Declaration of performance, BIM object
	Informatie over het productieproces	Materiaalsamenstelling, recyclage aandeel, kritiek grondstoffen gebruik, productieproces, Material Flow Analysis, Life cycle data (LCI, LCA, LCC), installatie en gebruik instructies, verpakkingseisen, supply chain,...
Transport en logistiek		Afmetingen en gewicht transport, nodige voertuigen, nodig bevestigingsmaterieel, veiligheidsvoorschriften, opslagvoorschriften, verpakking, RFID tags, behandelingsinstructies
Gebruiksfas	Updaten van informatie en hulp voor facility management	Onderhoud, materiaaleigenschappen, garanties, levensduur, beschikbaarheid vervangstukken, monitoring, buitenklimaat invloeden,...
DfD & Reuse	Informatie voor demontage	Demontage proces, nodig materieel, methode, arbeid, materiaal compositie, locatie en hoeveelheid van het product in het gebouw, traceerbaarheid, geproduceerd afval en bijproduct bij demontage, eigenaarschap, hergebruik potentieel, connectie informatie, second life options, residuele waarde,

Er zijn verschillende commerciële platformen voor materialen paspoorten op de markt zoals Madaster. Het ontbreekt echter aan een gestandaardiseerde, uniforme methodiek waardoor de informatie van al deze platformen ook uitwisselbaar wordt.

4) Datacontrole en analyse

De literatuur geeft aan dat het controleren van de juistheid, nauwkeurigheid, relevantie, betrouwbaarheid, etc. van de geïmplementeerde data van cruciaal belang is voor aanbestedingen, prefabricage, uitvoering van het gebouw, het *as-built* model en oplevering, het *up-to-date* zijn tijdens gebruik o.a. in functie van eventuele aanpassingen. Enkel als in deze stappen de informatie accuraat is gedocumenteerd, kan bij einde levensduur het potentieel van het BIM-model benut worden.

Het BIM-model kan ook ingezet worden om het ontwerp zelf te evalueren op uiteenlopende criteria (zoals circulariteit) en te verifiëren of het voldoet aan de vooropgestelde eisen. In termen van circulariteitsbeoordeling werd de opportuniteit reeds opgemerkt. Echter ontbreekt het aan geteste methodes om data overdracht tussen het BIM-model en beoordelingstools te faciliteren. Charef en Emmitt (2021) documenteerden verschillende barrières die overwonnen kunnen worden door een verbeterende data flow (zie figuur 2). Ook LCA valt onder deze noemer, waarvoor echter wel onderzoeken lopende zijn. De data flow optimalisatie tussen BIM en beoordelingstools vormt een belangrijk onderdeel van dit onderzoek (zie volgend hoofdstuk).



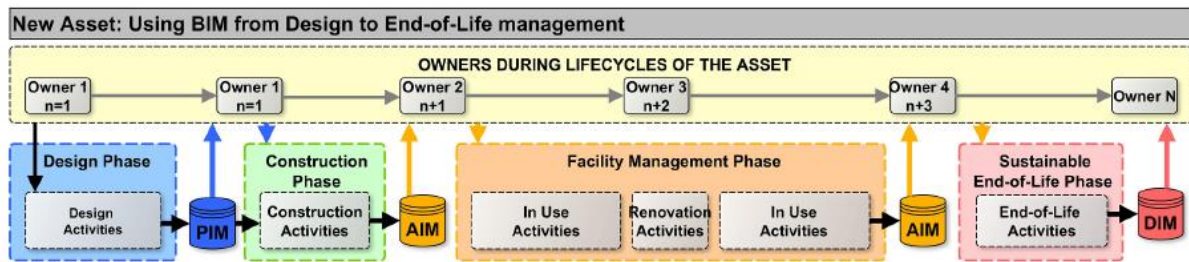
Figuur 2: Te overkomen barrières voor CE implementatie in BIM (Charef & Emmitt, 2021)

De belangrijkste aspecten worden in de volgende hoofdstukken verder verdiept. Een stand van zaken wordt geschetst op basis van de relevante literatuur en daar waar relevant en mogelijk binnen de scope van dit onderzoeksproject werd verder onderzoek verricht (voornamelijk voor de automatisatie van informatieoverdracht tussen BIM en circulaire beoordelingsstools). In een laatste hoofdstuk wordt bekeken hoe de geleerde lessen in het aanbestedingsproces kunnen verwerkt worden.

4. BIM gedurende de levenscyclus van een gebouw

BIM-modellering komt voort uit een vergevorderde digitalisering van het tekenproces in ontwerp- en uitvoeringsfase. Aanvankelijk beoogde men een digitale kopie van het gebouw. Echter de meerwaarde van het BIM-model voor specifieke circulaire strategieën zal tijdens de gebruiksfase of einde levensduur geboekt worden.

Naast de drie gebruikelijke dimensies van een 3D BIM-model, bestaat de mogelijkheid om nog extra 'dimensies' toe te voegen. De meest gebruikelijke is tijd (4D), waarmee fasering in uitvoering en bijbehorende plannen geïmplementeerd worden. Koutamanis (2020) oppert dat nog bijkomende dimensies toevoegen gunstig kan zijn, zoals kostprijsberekening, beheer en duurzaamheid. De achtste dimensie (8D) werd gereserveerd voor het EoL model of het DIM-model. Het DIM-model is slecht één van drie modellen die relevant zijn tijdens de levensduur. Charef en Emmitt (2019) geven een overzicht van de verschillende te genereren BIM-modellen ter ondersteuning van circulaire aspecten. De drie modellen die tijdens de levenscyclus van activa worden ontwikkeld zijn: het PIM (Project Informatie Model), het AIM (Asset Informatie model) en uiteindelijk het DIM (Deconstructie/Demontage/Ontmanteling Informatiemodel). Zie figuur 3.



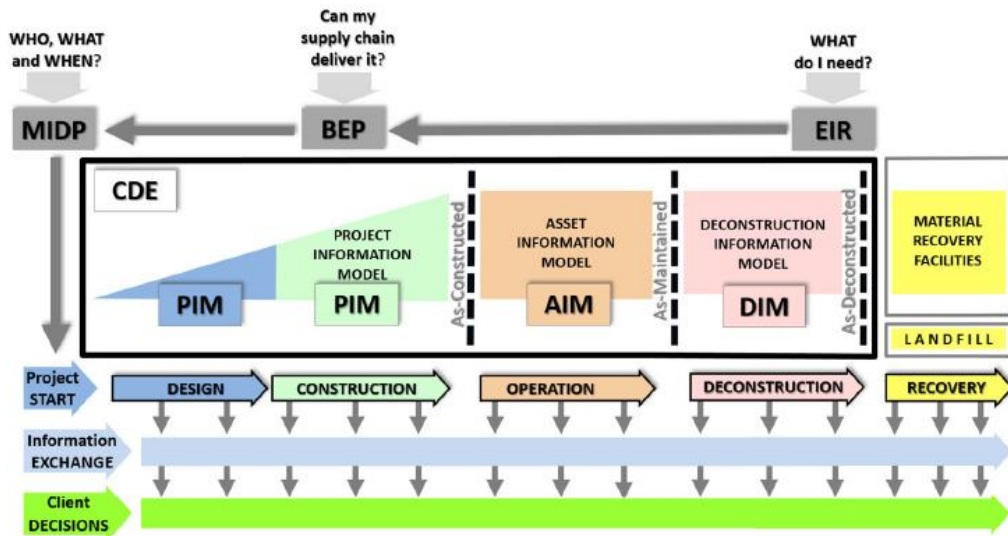
Figuur 3: De verschillende types modellen gegenereerd doorheen de levensduur van een gebouw (Charef en Emmitt, 2019).

Het **Project Information Model of PIM** bevat een reeks bouw-informatiemodellen, opgebouwd uit grafische en niet-grafische gegevens, geleverd door de verschillende stakeholders die bij de ontwerp- en bouw-fase zijn betrokken. In het PIM model worden de verschillende ontwerpen (voorontwerp, definitief, uitvoeringsontwerp) en de uitvoering van het gebouw gedocumenteerd. Het is noodzakelijk om alle informatie met betrekking tot de bouw-fase te integreren, inclusief de gegevens en wijzigingen met betrekking tot deze fase; technische fiches, technische adviezen, exacte implementatiedata zijn geïntegreerd in het Digital As-Built Record. (Charef et al., 2019)

Een tweede model bevat alle relevante informatie voor het gebruik en onderhoud van het gebouw; het **Asset information Model of AIM**. Hoewel het AIM geometrisch is gedegradeerd krijgt het intelligente gegevens, in wezen niet-grafische gegevens, die het object beschrijven en fungeren als identiteitskaart van het gebouw. Het model bevat de volledige geschiedenis van het gebouw en moet daarom ook continu geüpdatet worden. Sommige data verandert immers vaak zoals info over technische installaties, ruimtegebruik en indeling, aanpassingen/vervangingen van bepaalde onderdelen (bv.. façade panelen), etc. Het wordt, naast 'passieve', 'actieve' informatie genoemd. Passieve informatie behoeft geen regelmatige updates, actieve informatie echter wel. Het updaten garandeert immers een representatief 'as maintained' model bij einde levensduur. Eigendomsrechten en verantwoordelijkheden met betrekking tot het asset zijn ook kritische datapunten om op te nemen (denk aan einde contracten servitisation of verkoop gebouw).

Tot slot rest nog het **Deconstruction Information Model of DIM**. Dit model bevat de sloop, deconstructie of ontmantelingsstrategieën, die ook naast andere scenario's kunnen worden uitgevoerd. Het model zal gegevens bevatten met betrekking tot de EoL-activiteiten, of het nu gaat om deconstructie, ontmanteling of ontmanteling. Ieder onderdeel van het asset bevat informatie die EoL-managers nodig hebben om hen in staat te stellen bijvoorbeeld de deconstructie adequaat en efficiënt uit te voeren. De gegevens bevatten details over de componenten, hun geschiedenis, zoals wanneer ze werden geïnstalleerd, vervangen, de nodige voorzorgsmaatregelen te nemen tijdens de deconstructie, en hoe hun herstel optimaliseren door ze op de hoogste waarde en in de minst impactvolle manier. Het EoL scenario dat voor elk onderdeel is voorzien, is ook aangegeven, volgens de ladder van Lansink ontwikkeld door (Khaw-ngern et al., 2021), of het nu gaat om hergebruik, reparatie, herfabricage of recyclage. Hoewel recyclage populair is geworden in de bouwsector, hebben verschillende auteurs de bezorgdheid geuit over de milieu impact van recyclagestrategieën en roepen zij op tot meer *upcycling* in plaats van *downcycling*.

In grote lijnen ligt de inhoud van de drie modellen vast, echter, afhankelijk van de ambities van een specifiek project, kan meer of minder informatie nodig zijn. De projectvereisten van elk stakeholder moet worden opgenomen in het BIM-protocol en dus ook vroeg in het project (in EIR-, BEP- en MIDP-documenten). Zie figuur 4.



Figuur 4: Schema voor 'Information Delivery Cycle' integratie van de nieuwe Asset Lifecycle (Charef 2021)

Producenten moeten bijvoorbeeld de vereisten voor de EoL upstream kennen om passende aanbiedingen te kunnen doen, gezien de moeilijkheid van de CE-benadering. Behoeften zullen ook betrekking hebben op het Level of Details (LOD's), de kwantiteit en kwaliteit van de vereiste gegevens, planningsvereisten enz. (Charef & Emmitt, 2021)

Verder in dit document wordt aangegeven welke clauses in de aanbesteding moeten opgenomen om bovenstaande te waarborgen. Ook voor de stappen na gunning, nl. het opstellen van het BIM protocol en de BIM modelleerafspraken worden de eisen besproken.

5. BIM en neutrale uitwisselingsformaten

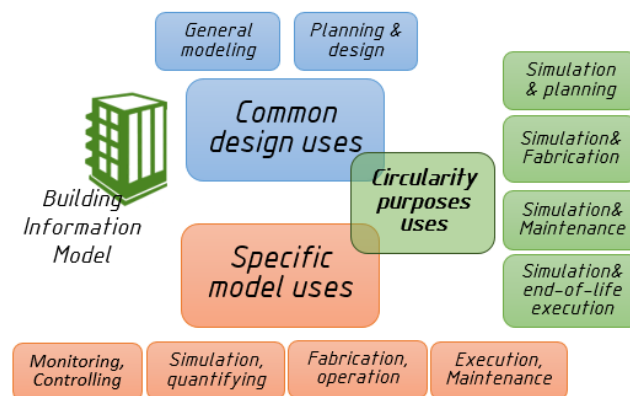
Naast het implementeren van de gewenste informatie in het BIM model is het belangrijk om die informatie ook te kunnen uitwisselen. De stakeholders tijdens de ontwerp- en uitvoeringsfase zijn eenvoudig te identificeren. Hetzelfde geldt voor de gebruikers van een gebouw, zij het de eerste 'lichting'. Gebruikers kunnen immers veranderen. De specifieke betrokkenen bij einde levensduur zijn al helemaal onbekend. Om informatie-uitwisseling digitaal te organiseren en te garanderen dat de informatie met zoveel alle nodige partijen gedeeld kan worden en door hen gelezen, is het van cruciaal belang om te standaardiseren.

Momenteel is het gebruikelijk in bouwprojecten en -bedrijven om licentie gebaseerde BIM software en bijbehorende datastructuren te gebruiken. Op het beschikbaar aanbod van software zit veel spreiding, ook qua data management. De gebruikte structuren zijn vaak ad-hoc gedefinieerd voor een project, afgestemd op bedrijfsnormen of in het beste geval volgens lokale richtlijnen. Hoewel de implementatie van gestandaardiseerde productgegevens nog in ontwikkeling is, is de methodologie voor het opzetten van projecten en workflows al volledig gedefinieerd in **EN ISO 19650**. Deze norm geeft een goede definitie van het ontwerpproces en de belangrijkste beslispunten. Door deze standaard te volgen, kunnen op BIM gebaseerde samenwerkingsprojecten worden gecreëerd. Daarnaast hebben de technische commissies ISO/TC 59 SC 13 en CEN/TC 442 normen ontwikkeld voor datastructuren die zijn gepubliceerd als **EN ISO 12006-3**, **EN ISO 23386** en **EN ISO 23387**. Om de transitie te maken naar een volledig geïmplementeerd, gestandaardiseerd framework voor productdata volgens EN ISO 23386 en 23387 is het essentieel om meer inzicht te krijgen in de benodigde informatie in verschillende stadia in de levenscyclus van een gebouw asset (Kai Xue et al.,

2021). Momenteel ontwikkeld CEN/TC 442 in samenwerking met andere CEN/TC's een normering voor het beheer, het onderhoud en de hosting van benodigde databases alsook een definiëren van producteigenschappen. CEN/TC 442 werkt aan de methodologie, terwijl andere TC's de nodige competentie hebben om die methodologie op hun domein toe te passen en de eigenlijke inhoud te definiëren (Akbarieh et al., 2020).

Standaardisatie

Iedereen die betrokken is bij het verstrekken van informatie over gebouwen moet volledige duidelijkheid hebben over voor welke informatie zij verantwoordelijk zijn en dus moet verstrekken en de vereiste vorm. Algemeen moet er consensus zijn over het juiste niveau van informatie (**LoI**). Het is des te belangrijker wanneer de digitale tweeling niet wordt gevisualiseerd in BIM-tools, maar in plaats daarvan in software van derden (Akbarieh et al., 2020). Het is immers de informatie die gelinkt is aan grafische objecten die belangrijk is voor circulariteit. De ISO 19650-reeks definieert aspecten als wat (welke handelingen kunnen worden uitgevoerd met de verstrekte informatie), wanneer (de datum of de gebeurtenis waarop deze informatie moet worden geleverd), hoe (inhoud, vorm en formaat), en voor wie gegevens zijn bedoeld (een begunstigde van de informatie). Maar tegelijkertijd is het belangrijk om een lijn te houden tussen algemeen modelgebruik (wat we kunnen leveren), modelgebaseerde resultaten (wat wordt opgeleverd, wat moet worden gearchiveerd) en wat zal worden gebruikt tijdens en na de levenscyclus van het gebouw (zie figuur 5).



Figuur 5: Model gebruik

Deskundige functionaliteiten zijn gekoppeld aan een BIM-model door middel van **Information Delivery Manual (IDM)** frameworks en **Model View Definition (MDV)** die relevante informatie verschaffen, gegevensuitwisseling vergemakkelijken en dubbelzinnigheden vermijden. Voorgaande begrippen zijn genormeerd in ISO 29481, ontwikkeld door buildingSMART als methodologie om processen en informatiestromen vast te leggen en te specificeren tijdens de levenscyclus van een faciliteit. Een **IDM** documenteert de stroom van informatie voor een specifiek gebruik en specificeert de inhoud van elke uitwisseling in de workflow. Een **MVD** is een implementatie interface van IDM die de generieke informatie uitwisseling in kaart brengt en verbindt met de specifieke kenmerken van een gegevensschema, zoals het IFC-schema. Het exchange requirement model of ERM beschrijft de rollen van de stakeholders, de relevante informatie voor een aangewezen proces, het moment van de informatie flow en de inhoud en de ontvangende gebruiker/rol. (Volk et al., 2014).

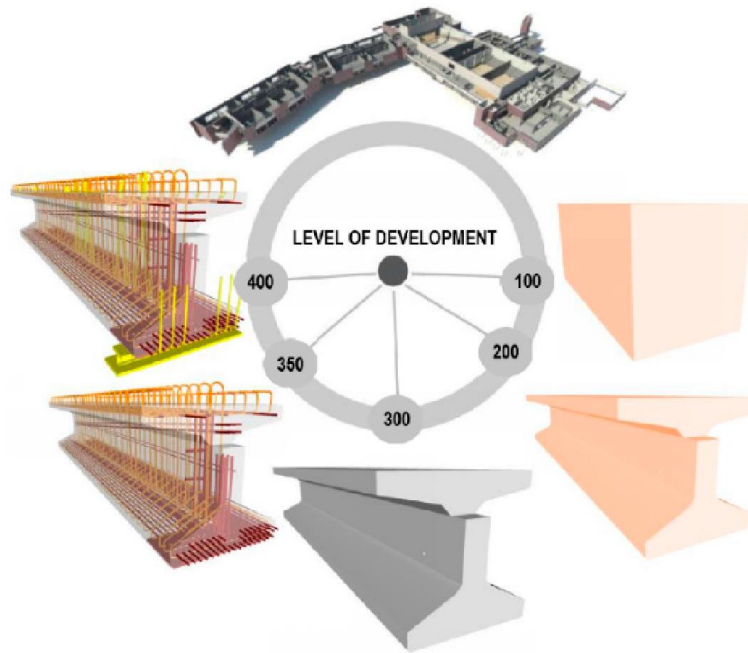
Gegevensuitwisseling is mogelijk via betalende of open source uitwisselingsformaten. **IFC** bestanden of Industry Foundation Classes, genormeerd in ISO 16739, zijn het meest gangbare uitwisselingsformaat in de bouwsector, bedoeld om discipline specifieke informatiedeling te faciliteren

gedurende de gehele levensduur (zonder EoL), informatie uit te wisselen tussen BIM modelling software, IFC viewers en specifieke expertise software (bv. importeren in structural engineering software). Volgens de literatuur zou het IFC formaat niet geschikt zijn voor de beoordeling van reststromen in bouwprojecten of demontage processen. Momenteel bestaan geen IFC klassen voor DfD of demontage om einde levensduur fases te ondersteunen met BIM (Akbarieh et al., 2020). Volk et al. (2014) geven een overzicht van bijkomende subklassen in het IFC format voor locatie, financiën, product eigenschappen, processen en impact indicatoren voor EoL scenario's.

Naast het IFC formaat bestaan er open file formaten, waaronder gbXML, the standard Data Dictionary XML (SDD XML), Open Studio Model (OSM). Het veelvoud aan beschikbare open file formaten kan enerzijds de interoperabiliteit verbeteren, anderzijds kan het ook problemen veroorzaken en bemoeilijkt het de doorontwikkeling naar één algemene standaard (Ramaji et al., 2020).

- **gbXML** (eXtensible Markup Language) werd ontwikkeld door Green Studio voor het uitwisselen van analytische 3D modellen, specifiek van gebouwen. Met de ontwikkeling van export- en importmogelijkheden in meer dan 50 engineering- en analyse-modelleringsstools, is gbXML defacto een industriestandaard schema. Dit open format wordt doorontwikkeld om energieprestatie berekeningen te optimaliseren. Echter noch in de literatuur, noch bij de software ontwikkelaar is aandacht voor implementatie van circulariteitsaspecten.
- **SDD XML** is een uitbreiding op het vorige formaat, bedoeld om de inspectie van projecten inzake energieprestatie regelgeving te vergemakkelijken. In dit formaat zit ook informatie betreffende structurele aspecten van het gebouw. Opnieuw is circulariteit hier geen specifiek aandachtspunt voor onderzoek of de commerciële sector.
- Bijkomende afgeleiden van IFC's zoals **ifcXML** en **ifcZIP**, respectievelijk een deelbaar formaat voor zowel IFC als XML, en een gecompriëerde IFC bestaan eveneens.
- Construction Operation Building Information Exchange (**COBie**) verschilt van IFC doordat het geen grafische gegevens van een gebouw deelbaar maakt. Spreadsheets of relationele databanken zijn de vorm waarin informatie gedeeld wordt. COBie is gericht op gebruikers van de informatie die in de data is verwerkt, IFC is gericht op software die gebruik maakt van de data.

Wanneer data uitgewisseld wordt tussen verschillende stakeholders, is het belangrijk dat hetzelfde en geschikte detailniveau (of Level of Detail of **LoD**) wordt gebruikt. In de sector is er algemene consensus over de definitie. Het zorgt ervoor dat de informatie een zekere uniformiteit heeft en dat alle gewenste imports of exports vanuit externe software mogelijk zijn. Het LoD specificeert de hoeveelheid grafische informatie die in het BIM moet worden gedefinieerd, variërend van 100 tot 550 (zie figuur 6). Het begrip LoD dient echter nog als standaard uitgebracht te worden door CEN (BIM portal België). Een aanverwant begrip is het Level of Information (**LoI**) en wordt soms als één gezien met LoD, vertaald als Level of Development en dus beide aspecten dekkend.



Figuur 6: Level of Development (LoD) (Akbarieh et al., 2020)

Hoe hoger het LoD, hoe hoger het grafisch detailniveau van de getekende objecten in het BIM-model. Hogere detailniveaus vragen meer tekenwerk en zijn bijgevolg duurder. Een aantal aspecten vereisen reeds een verhoogd LoD, zonder specifiek circulaire ambities te hebben. Bijvoorbeeld wanneer men automatisch meetstaten wil kunnen exporteren uit BIM is minstens een LoD level van 300 nodig. Voor productieprocessen en assemblage op de werf is minimaal level 400 nodig en voor as-built modellen die echt bruikbaar zijn voor maintenance en facility management zelfs level 500.

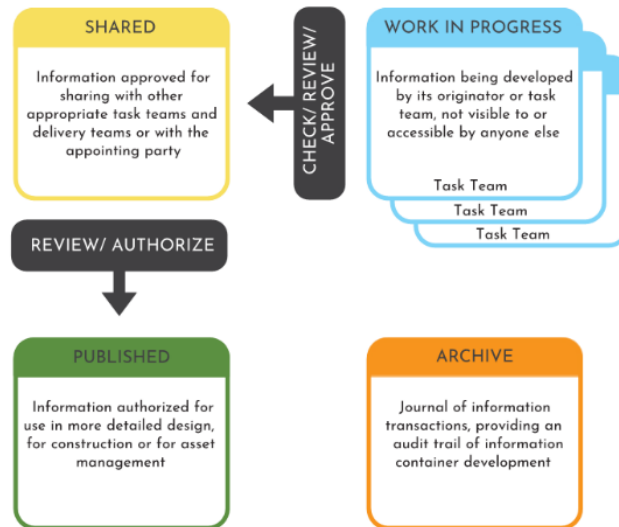
Voor duurzaamheidsaspecten en circulariteit gelden ook minimumeisen wat betreft LOD. Soust en Verdaguer geven aan dat level 300 geschikt is voor BIM-LCA implementaties omdat de objecten op hun effectieve grootte worden gemodelleerd. Ramaji et al. ontwikkelden een methode met drie niveaus van IFC gebaseerde LCA analyses (2017). Bij demontage is er dan weer een hoger level nodig (500) om specifiek te weten hoe de demontage praktisch kan gebeuren en hoe verbindingen losgemaakt kunnen worden. Algemeen concluderen Akbarieh et al. (2020) dat een LoD lager dan 350 niet bruikbaar is bij circulaire implementaties.

Samenwerkingsplatformen

Informatie wordt, althans ten minste tot de oplevering van een bouwproject, georganiseerd op een digitaal samenwerkingsplatform. De **Common Data Environment (CDE)**, zoals gedefinieerd door PAS 1192-2 en ISO 19650, is een online platform waar de gegevens die rond een project zijn gemaakt, worden verzameld, beheerd en gedeeld (Charef, 2022). Voor effectief databeheer moet de CDE aan de volgende criteria voldoen (zie figuur 7):

- Toegang tot het platform en de controle en het management daarvan,
- Consensus over het benamings- en classificatiesysteem,
- Ieder onderdeel of submap moet zijn eigen unieke identiteit hebben in overeenstemming met de overeengekomen naamgevingsconventie,

- Ieder onderdeel of submap moet de volgende karakteristieken hebben: status, revisie en classificatie.



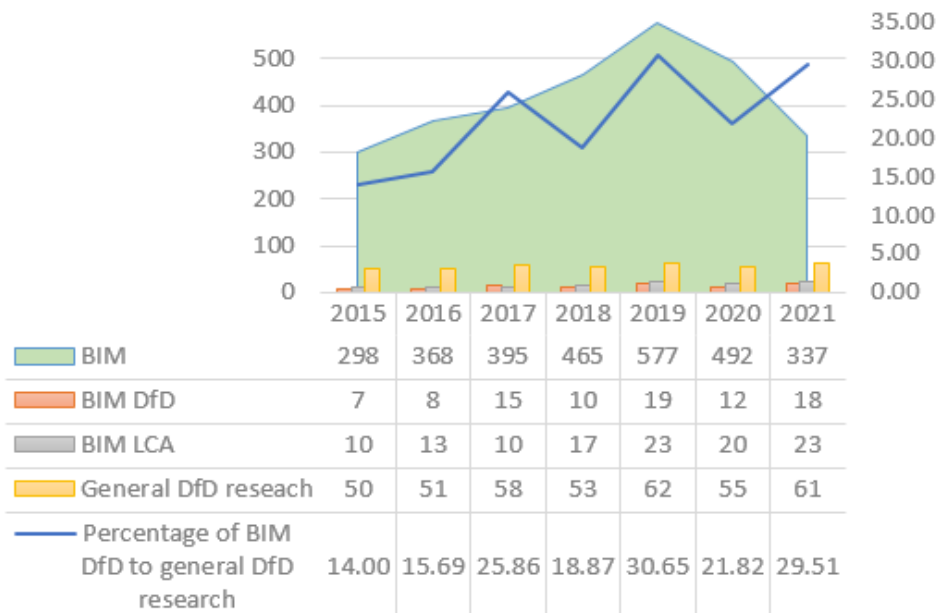
Figuur 7: basis criteria en workflow CDE (ISO 19650)

Om ervoor te zorgen dat informatie op een efficiënte en voorspelbare manier heen en weer wordt doorgegeven tussen teamleden, is het belangrijk om de manier en het schema van die uitwisselingen te bepalen. Als algemene norm is het de bedoeling van het Projectteam om voortgangsupdates (tijdens de ontwerpfase) aan het projectteam te posten met behulp van bestaande managementsoftware. In tijden van intense activiteit kan worden verwacht dat frequente coördinatie-updates nodig zullen zijn om projectmijlpalen en deadlines te halen. Het is belangrijk rekening te houden met de formaten van de input/output-bestanden, alsook met de beperkingen voor de gespecialiseerde software. Onze aanbeveling is een stappenplan voor de formaten op te stellen, met de nadruk op de vereisten voor circulaire software (formaten, hun mogelijkheden en beperkingen), en deze te verdelen in strikte en optimale vereisten.

6. BIM en circulaire beoordelingstools

Er is behoefte aan indicatoren voor de implementatie van het CE-denken in de bouwsector (Di Biccari et al., 2019) vooral om een gestandaardiseerd inzicht te krijgen in de circulariteit van gebouwen en hun prestaties vergelijkbaar te maken. Eveneens in WP3 van het Parkgebouw Zwijnaarde onderzoeksproject werd een rapport opgeleverd met een overzicht van beschikbare tools en hun geschiktheid ter implementatie in het aanbestedingsproces. De meest geschikte strategie is opname van een minimale prestatie volgens een voorgeschreven beoordelingstool in het prestatiebestek van de opdracht. Een doorgedreven integratie in BIM kan het bekomen van de vooropgestelde berekeningsresultaten aanzienlijk efficiënter maken in termen van informatiestromen en tijd.

Het gebruik van BIM als ondersteunend instrument voor onderzoek en toepassing is de laatste tien jaar in opkomst (zie figuur 8). Verschillende onderzoeksaspecten zijn milieu-impact, circulair ontwerp en optimalisatie van BIM-processen. Ter illustratie richt dit onderdeel van dit rapport zich op de integratie van BIM met LCA en DfD. De bevindingen betreffende de integratie zullen veralgemeend worden voor analoge tools.



Figuur 8: Evolutie van het aantal publicaties rond BIM gedurende de voorbije jaren (Lukianova et al., 2022).

Het onderzoeksveld richtte zich in eerste instantie op kwantitatieve resource prestatie-indicatoren voor Life Cycle Assessment (LCA) en dynamische LCA (Akinade et al., 2017). Echter onderzoek rond DfD-implementatie in BIM nam toe, wat de aandacht van LCA voor de vereiste aanpasbaarheid, bruikbaarheid en onderhoud benadrukt voor bouwmaterialen gedurende de gehele levenscyclus. Een deel van de bestaande studies richt zich op demontageberekeningen door de losmaakbare onderdelen te beschouwen (dekt de informatievereisten van "Niveau van detail" (LOD 350)) en een elementniveau (LOD 200) gedefinieerd door het American Institute of Architects (AIA) (Guerra et al., 2020)). Het overige deel focust op tijd- en kostenanalyse van montagewerkzaamheden op basis van 4D- en 5D-modellering (Platform CB'23, 2021). Er zijn verschillende BIM-geïntegreerde DfD-concepten ontwikkeld en gepubliceerd. BCI Gebouw is een standalone platform dat toelaat de losmaakbaarheid van een gebouw te beoordelen. Het BAMB-project werkt aan de BIM-geïntegreerde Reversible Building Design Tools, inclusief aspecten van hergebruik, potentiële omkeerbaarheid en demontage, met veel aandacht voor de onderlinge relaties tussen componenten.

Levenscyclusanalyse

Integratie van CE-assessment is handig en zal verder besproken worden, echter circulariteit is enkel een middel voor het verminderen van de milieu impact van de bouwsector. De meest directe manier is dus een integratie van milieukosten analyse in BIM, wat optimalisatie tijdens het ontwerpproces en verificatie van de prestaties bij oplevering (as-built model) moet bewerkstelligen. LCA is een uitgebreid milieueffect beoordelingskader zoals gedefinieerd in de ISO 14040:2006-norm die rekening houdt met de hele levenscyclus van een product of gebouw. Zowel Kai Xue et al. (2021) als Lukianova et al. (2022) geven een overzicht van het bestaande werkveld.

Het vereenvoudigen van een BIM-LCA integratie is mogelijk door het toepassen van de processen beschreven in de internationale normen ISO 19650 (1-5). Beheer van informatiestromen (zowel algemeen als LCA) en nauwkeurigheid van gegevens (materialenlijst en meetstaten) kunnen positief worden beïnvloed door de betrokkenheid van belanghebbenden tijdens het ontwikkeling- en goedkeuringsproces van EIR (Exchange Information Requirements), BIM-protocol, BEP (BIM-uitvoeringsplannen) documenten (Xue et al., 2021) (zie verdere secties).

De BIM-LCA integratie kan doorgevoerd worden op drie niveaus:

- (i) het eerste niveau is het gebruik van BIM om materialen en architecturale elementen te kwantificeren voor Life Cycle Inventory (LCI) gegevens die dan als basis dienen voor de eigenlijke LCA-analyse;
- (ii) het tweede niveau, de integratie van milieu-informatie in BIM als een ontwerp tool;
- (iii) het laatste niveau is het ontwikkelen van een geautomatiseerd proces op basis van LCI-gegevens en Software.

Levenscyclusanalyse is een complex en tijdrovend proces. Het opstellen van een meetstaat geeft inzicht in het type materialen en hun hoeveelheid, ophalen en koppeling van desbetreffende materialen met de representatieve datasets uit een database laat toe de milieu impact te berekenen. Zo'n analyse wordt meestal uitgevoerd aan het einde van het ontwerpproces, wat de oefening herleidt tot het verwerven van inzicht en vermijdt dat de analyse invloed heeft op het effectieve ontwerp. Er is dus een verschuiving naar de beginfase van het ontwerpproces nodig. De geïntegreerde LCA-BIM methode laat toe om snel te modelleren en toch relevante LCA-inzichten te verwerven. Door de geïntegreerde methodiek wordt LCA een criterium dat actief meegenomen wordt in het ontwerpproces. (Kai Xue et al., 2022)

In de pre-operationele fase vereist het berekenen van de ingebedde energie twee datapunten: de grootte/het aantal elementen en de bijbehorende LCI-databases. De totale impact van het ontwerp kan worden berekend door de grootte/het aantal elementen of materiaal te vermenigvuldigen met de overeenkomstige factoren uit de LCI-database. Gedetailleerde informatie van het BIM-model verbetert de nauwkeurigheid van de milieu-evaluatie, terwijl het geautomatiseerde proces voor het opmaken van de meetstaat de vereiste analysetijd aanzienlijk verkort. Kai Xue et al. (2022)

De meer geïntegreerde BIM-LCA methode lijkt tegen heel wat barrières te stoten. De gegevens die beschikbaar zijn in BIM-databases blijken vaak niet voldoende om een uitgebreid LCA-model uit te voeren. Plug-in systemen laten toe standaard elementen in te laden in het BIM-model, inclusief bijhorende productinformatie. Echter herkent LCA-software de informatie over milieu impacts mogelijk niet of is ze niet aanwezig, wat betekent dat de vereiste informatie alsnog handmatig moet worden toegevoegd. Ten tweede, Peng et al. benadrukte dat BIM in de vroege ontwerp fase niet genoeg gegevens kan ontwikkelen voor de uitgebreide LCA, omdat het huidige doel van deze twee enorm verschillend is. Daarnaast zorgt het gebruik van standaard formaten zoals IFC en gbXML voor beperkte automatisering en interoperabiliteit wat alsnog de tijdsbesparing van de analyse minimaliseert.

Specifieke LCA plug-ins weten deze barrières te overkomen, maar weten hun rol als design tool niet onmiddellijk waar te maken. Het is bijvoorbeeld niet mogelijk om ontwerp alternatieven te vergelijken in de tool. Er moeten aparte BIM-modellen gemaakt worden om de vergelijking uit te voeren. Daarnaast zijn de LCA-tools vaak niet compatibel met andere BIM-tools. Er is echter een gebrek aan compatibiliteit tussen gegevens en niet-ondersteunde gegevensformaten (vooral voor LCA-tools), wat extra verwerkingstijd vereist. Revit's Tally-plugin en LCA Ontwerp zijn voorbeelden van tools die BIM integreren in LCA. Deze laatste tool kan de milieueffecten in een vroeg ontwerp stadium berekenen met 3D-tekening bestanden verbonden met de Australische LCI-database.

Design-for-Disassembly

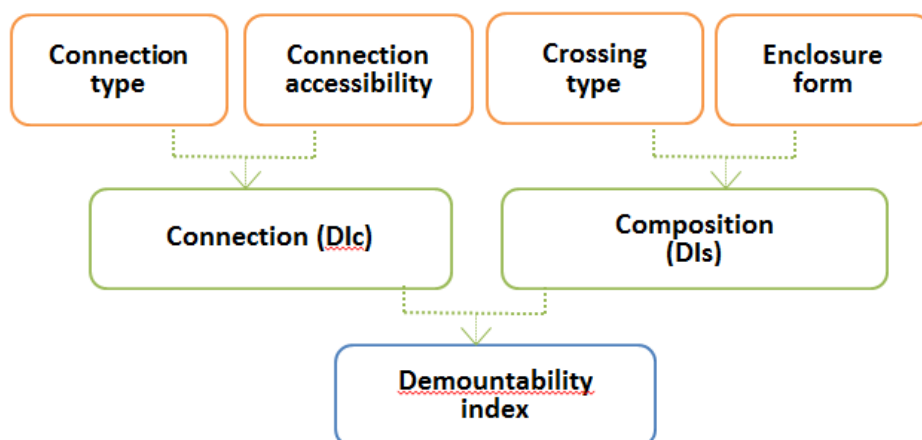
Naast LCA is het aangewezen om ook het verzamelen van bouwgegevens als input voor circulaire beoordelingstools te optimaliseren door een BIM-integratie. Eén van die circulaire aspecten is Design-

for-dissassembly (DfD), dat focust op de mate waarin een ontwerp aan de voorkant van een project anticipeert op mogelijke wijzigingen aan het gebouw tijdens de levensduur of de demontage bij einde levensduur door losmaakbaar te detailleren. De inzichten voor de integratie van DfD kunnen veralgemeend worden voor integratie van andere circulaire aspecten en bijbehorende tools.

Opnieuw vormt het ontbreken van een goed gedefinieerde en gestandaardiseerde methode een belangrijke barrière voor de integratie en automatisering van gegevensextractie in het algemeen: verschillende technieken en regels voor het ontwerpen van 3D-modellen, gebruik van verschillende classificatie- en nomenclatuur systemen tussen partners, samenwerking met verschillende gekoppelde bestanden en problemen met software compatibiliteit. Daarom moet ook bijzondere aandacht worden besteed aan de datastructuur en het uitwisselingsformaat, b.v. het IFC-formaat (Industry Foundation Classes) (zie eerder) om correcte gegevensuitwisseling en model coördinatie te garanderen.

Bovendien verhoogt het ontbreken van een database met connectoren en hun bijbehorende kenmerken de hoeveelheid vereiste handmatige invoer tijdens de ontwerpfase. Bijgevolg wordt het op een gegeven moment oneconomisch om het 3D-model of de handmatige input nog aan te passen. Dergelijke databases met een gestandaardiseerde gegevensstructuur, bijvoorbeeld geleverd door de fabrikant van componenten, zouden het mogelijk maken de visualisatie en bruikbaarheid voor het demontage proces te verbeteren, en daarnaast DfD op te nemen in parametrische ontwerpen. Wat ook bijdraagt aan de complexiteit is het feit dat Revit API's overerving hiërarchische structuur voor verschillende objecten anders is en dat de syntaxis moet worden verduidelijkt in het geval van aangepaste input, bijvoorbeeld: "loadable families", adaptieve componenten, enz.

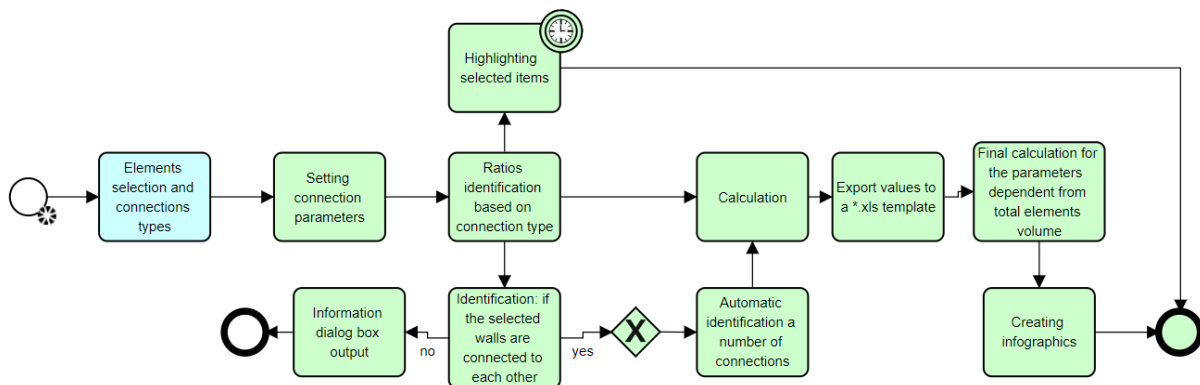
Een gevestigde methodologie voor de beoordeling van DfD, die tevens opgenomen is in het overzicht van dit onderzoeksproject van bruikbare tools, is de Losmaakbaarheidsindex, ontwikkeld door Alba Concepts. De methode gebruikt vier technische factoren voor de beoordeling, namelijk verbindingstype, toegankelijkheid van verbindingen, kruisingen en vorminsluiting (zie figuur 9). Deze technische factoren worden beoordeeld tussen 1.00 en 0.10. Er wordt onderscheid gemaakt tussen de demontage-index van de verbinding (Dlc) en de index van de samenstelling (Dls) van elk item. De losmaakbaarheidsindex is een combinatie van beide indexen, waarbij de volumetrische parameter als normalisatiefactor wordt gebruikt. Om tijdens de modellerings- en berekeningsfase een detailniveau te definiëren, werd BB/SfB, een Belgische versie van het internationale classificatiesysteem CI/SfB - toegepast.



Figuur 9: Losmaakbaarheidsindex factoren

Workflow en tool integratie

De ontwikkelde BIM-integratie in dit onderzoek is gebaseerd op een Dynamo-script waarmee de beoordeelde elementen kunnen worden geselecteerd en een verbindingstype kan worden toegewezen met daaropvolgende simulaties en berekening. Dynamo is een op Revit gebaseerde visuele programmeerinterface waarmee gebruikers code kunnen bouwen met algoritmisch gekoppelde knooppunten (gegevens en bewerkingen), waardoor de workflow van gebouwinformatie wordt opgezet en geautomatiseerd. Het script is geschreven binnen zowel de standaard- als aangepaste knooppunten met behulp van Python- en Revit API-programmeertalen door de volgende algemene workflow te ondersteunen (Figuur 10).



Figuur 10: workflow chart (Lukianova et al., 2022)

Voor het CBCI-framework werkt het script niet alleen als een hulpmiddel voor het leveren van gegevens, maar ook als een rekenmachine, en kan het worden onderverdeeld in zes secties, elk met verschillende functies:

- GUI (grafische gebruikersinterface) activering;
- Object selectie;
- Verbindingstype toewijzing;
- Database reading;
- Berekening en data export naar Excel.

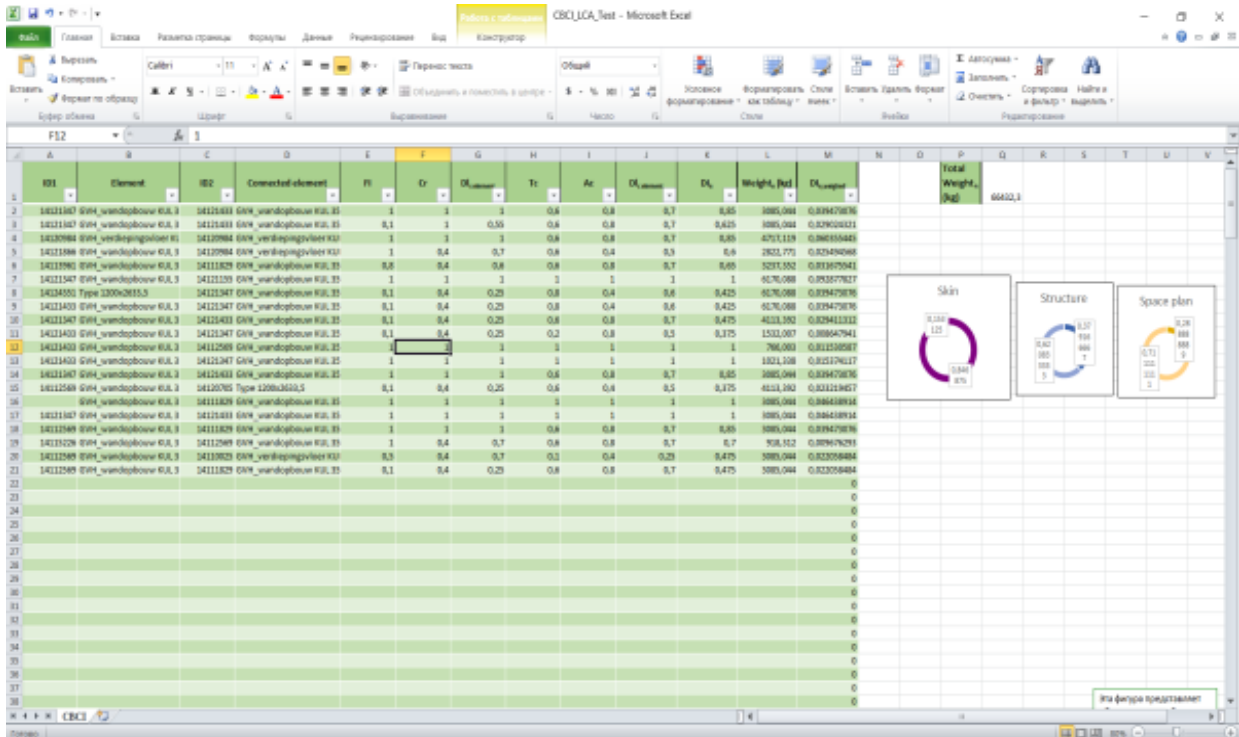
Tijdens de initiatiefase activeert het Dynamo-script de GUI (grafische gebruikersinterface) waarmee gebruikers elementen voor beoordeling selecteren (Figuur 11) en hun verbindingstypes en verbindingstoegankelijkheid aanvullen.

Figuur 11: GUI (grafische gebruikersinterface) voor de losmaakbaarheidsindex.

Na de input van de vereiste experts start het script het proces voor het controleren van de elementverbinding, extraheert het de benodigde geometrische attributen uit het model en scoort op basis van de formules. In een laatste stap worden de verzamelde tussenresultaten gemiddeld en genormaliseerd om de overwogen structuur in één score te beoordelen.

Als dusdanig kunnen alle input- en outputgebouwgegevens in verschillende categorieën worden ingedeeld. Algemene attributen bieden een elementidentificatie door hun ID, familietype en BB/SfB-code. Geometrische attributen geven de elementafmetingen en de materiaaldichtheid aan. Coördinatie-attributen zorgen voor een geautomatiseerde bepaling van het aantal gekoppelde elementen. Selectieve attributen leveren de gegevens die intern zijn opgeslagen in het beoordelingsscenario om het type en de coëfficiënten van verbindingen te identificeren.

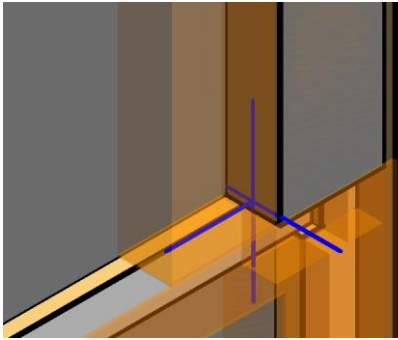
Een *genormaliseerde losmaakbaarheidsindex* (DIn) is uit de hoofdanalyse in het Dynamo-script gehaald omdat deze is gebaseerd op het totale volume van alle elementen. Het is technisch mogelijk om de extra-functionele nodes-groep te implementeren met de aanvullende gegevensimport uit hetzelfde Excel-sjabloon, maar als gevolg daarvan is de snelheid van gegevensverwerking toegenomen. Als eindresultaat krijgt de gebruiker een CBCI Excel-sjabloon met alle geïmporteerde gegevens en beoordelingsresultaten, diagrammen onderverdeeld in lagen structuur, skin, services en spaceplan (Fig.6).



Figuur 12: Voorbeeld van de visuele resultaten output.

Na het uitvoeren van tests werden verschillende verbeteringen in de tool geïntegreerd met als doel de bruikbaarheid ervan te verbeteren, zoals het dialogvenster (een berichtmelding die aangeeft of de elementen zijn verbonden) en de functie voor het markeren van geselecteerde objecten in het 3D-model.

Tijdens de tussentijdse simulatie kwam het voor dat verbonden elementen werden gedefinieerd als niet verbonden vanwege de minimale afstand tussen elementen (bijvoorbeeld om ontwerp redenen). Voor dit probleem ontwikkelde het team een strategie waarbij op de hoeken van de elementen indicatoren zijn gemaakt om een doorsnede-element te bepalen. Ze worden geïllustreerd door de blauwe lijnen in figuur 13 langs de randen van het geselecteerde element, aan de boven- en basispunten, worden de zes lijnen automatisch gegenereerd in verschillende oriëntaties met een door de gebruiker gedefinieerde lengte. Als volgende stap bepaalt de ontwikkelde tool of deze lijnen snijden met een oppervlakte geometrie van het tweede geselecteerde element en genereert een bericht. Deze indicatoren hebben hun voordelen en complexiteit en moeten in de toekomst verder worden bestudeerd en verbeterd. Het nadeel van deze strategie is dat deze indicatoren zijn gebaseerd op geometrische knooppunten, die vrij ruim en gecompliceerd zijn voor de *scriptworkflow*. Maar dit concept kan worden toegepast voor automatisering en identificatie van twee andere factoren van de vier gedefinieerde; zijnde het type toegankelijkheid verbindingen en kruisingen.



Figuur 13: geometrische implementatie doorsnede-element

Naast deze eerste strategie werden tijdens het werken aan het hoofdconcept nog twee andere strategieën getest. De eerste is de 'adaptive family' -strategie die een reeks belangrijke parameters gebruikt voor het toewijzen van experts. De tweede strategie is de "één element, één verbinding"-hypothese. Deze structuur en hypothese kunnen niet praktisch zijn voor structurele bouwcomponenten en HVAC-elementen met meerdere aansluitingen, bijvoorbeeld: vloeren, plafonds, liggerplaatsysteem, T-kanalen, enz. Daarnaast is een ander belangrijk aspect om te overwegen bij deze benadering dat de afwezigheid van ondersteuning van het IFC-formaat de gegevensinteractie van het model binnen het platform vermindert.

Conclusie en verder onderzoek

Uit het overzicht van bestaande studies blijkt dat er slechts enkele publicaties zijn gepubliceerd over de technische haalbaarheid om DfD- of LCA-berekeningen te integreren in een BIM-omgeving. Een belangrijke onderzoek bijdrage is de BIM-geïntegreerde ontwikkelingsbenadering op basis van de Dynamo Revit-interface, die analyse van demontage op basis van de Alba-conceptmethode ondersteunt. Dit visuele programmeerscript vertegenwoordigt een algoritme met een grafische interface dat het verkrijgen van geometrische elementgegevens en expertwaardegegevens automatiseert met een daaropvolgende beoordeling met behulp van een verbindingstypedatabase en een ingebouwde berekening. Verschillende onderzoeksperspectieven en verbeterpotentieel op het gebied van BIM werden tijdens het onderzoek geïdentificeerd. Naast het methodologische werk is een mogelijke diepgaande automatisering gepland om de volgende punten te dekken:

- Diepgaande procesanalyse en effectief databeheer tussen DfD-experts en BIM/CAD-modellereurs;
- verdere uitbreiding met een deconstructieplan van de bestaande tool, en als resultaat een directe Revit-plug-in maken;
- Het is gepast om technische kenmerken te onderzoeken om de identificatie en visuele weergave van het verbindingstype te automatiseren en vervolgens het handmatige werk en de beslissingen van experts te verminderen, evenals het creëren van een database-integratie van connectoren met de BIM-omgeving;
- Het is essentieel om een specifiek onderzoek uit te voeren en de mogelijkheid te evalueren om de DfD-beoordelingsmethodologie aan te passen aan Algorithm-Aided Design (AAD) en bestaande BIM-adaptieve ontwerptools;
- Er is een *proof of concept*-implementatie gedaan als hulpmiddel voor gedetailleerd onderzoek van de workflows en de informatievereisten voor DfD. Aanvullende stap(pen) van deze gepatenteerde oplossing naar een meer algemene oplossing op basis van het beschreven open, op standaarden gebaseerde framework, kunnen worden genomen zodra de vereiste implementaties beschikbaar zijn.

7. BIM en circulair aanbesteden

Tot nu toe zijn er allerlei exotische en vernieuwende technieken aan bod gekomen, maar wat is er nu relevant om in een aanbestedingsprocedure te beschouwen? Wat kan er in welke documenten opgenomen worden? Specifiek voor de aanbesteding begint het bij het BIM visiedocument en het bestek. Na gunning worden in samenspraak met de gekozen partijen het BIM-protocol, het BIM-uitvoeringsplan en de BIM modelleerafspraken opgesteld.

Circulariteit inbouwen in het BIM Visiedocument en de aanbestedingsdocumenten.

Ongeacht de schaal of complexiteit van het gemodelleerde gebouw, het BIM model komt tot stand door een complexe multidisciplinaire samenwerking. Daarbij is het van belang de juiste stakeholders te betrekken op het juiste moment in het proces. De functionele specificatie en het bestek, gesommeerd met de winnende offerte kunnen al een indicatie geven van de timing van bepaalde informatiestromen. Het hoeft geen betoog dat het in kaart brengen en ophalen van alle nodige BIM gerelateerde informatie een uitdagende taak is, zeker indien er circulaire principes als hergebruik in het project worden gehanteerd. Dat wordt nog versterkt door bijkomende circulaire ambities; het betreft veel externe en interne, impliciete en expliciete informatie met daaraan gelinkt een toenemend aantal stakeholders die betrokken zijn bij de ontwerp-, bouw- en exploitatie processen van het gebouw. Een dergelijke informatiestroom vereist speciale aandacht voor de BIM-procedure.

Het bepalen van BIM-doelstellingen gebeurt op basis van het **BIM Visiedocument** en helpt de richting en integratie van BIM in de algemene doelstellingen van het project te verzekeren. Dit visiedocument dient in lijn te liggen met de projectdefinitie en kan als het ware als een 'information-management' vertaling zijn van de algemene doelstellingen; hoe kan BIM de algemene circulaire ambities van het project versterken? De ambities moeten meetbaar, haalbaar, volledig, consistent en onafhankelijk van beslissingen zijn (b.v. verminderen van exploitatie- en levenscycluskosten; verbeteren van werkstromen; begrijpen en definiëren van informatie, enz.). De doelstellingen dienen duidelijk geformuleerd, aangezien zij de basis vormen voor het verdere BIM proces en zij van invloed zullen zijn op elke beslissing in het project gedurende zijn gehele levenscyclus; alsmede van invloed voor de beslissing aan het einde van de levensduur. Bij circulaire projecten dient men belang te hechten aan mogelijke conflicterende, BIM gerelateerde doelstellingen, zoals productiviteitsdoelstellingen, tijdsdoelstellingen en hulpbrondoelstellingen. Deze drie kunnen elkaar onderling beïnvloeden; een variabele bij de een zal de andere beïnvloeden.

Voor een goed procesverloop is het noodzakelijk de **verantwoordelijkheden** van elke partij vast te leggen in juridische documenten die naar behoren rekening houden met de inbreng en verwachtingen van elke partij, alsmede met de verantwoordelijkheid voor eventuele vragen die zich kunnen voordoen. Het beheer van de informatiestroom en de nauwkeurigheid van de gegevens (materiaallijsten, materiaallijsten) kunnen positief worden beïnvloed door de betrokkenheid van de belanghebbenden tijdens het ontwikkelings- en goedkeuringsproces van het BIM visiedocument, BIM-protocollen en BEP-documenten (BIM-uitvoeringsplannen).

Algemeen vormen de volgende documenten de basis van het BIM proces verloop:

Het BIM visiedocument definieert de eisen van de opdrachtgever voor het projectontwerp. Het doel is om de overeengekomen methoden en procedures voor informatieoverdracht, het formaat, het informatieniveau, methoden en plan voor informatie-uitwisseling, betrokken rollen en verantwoordelijkheden te beschrijven. Dit document wordt opgemaakt door de opdrachtgever voor de gunning van de opdracht.

Het BIM Protocol is een contractueel document tussen de opdrachtgever en het opdrachtnemers consortium waarin verdere rechten en verantwoordelijkheden worden vastgelegd. Het specificeert de procesrollen, de detailleringsniveaus, de prioriteiten van de eisen en de eisen voor de verschillende partijen in het proces. Dit document wordt normaliter opgemaakt door opdrachtnemer en goedgekeurd door opdrachtnemer doorheen een iteratief samenwerkingsproces. Opmaak en goedkeuring vormen één van de acties na gunning.

Het BIM uitvoeringsplan legt het BIM-ontwerpproces voor een specifiek project vast, zoals verantwoordelijkheden, normen, methoden, procedures, informatiestroom strategieën, nomenclatuur, componenten en attributen zodat voldaan wordt aan de in het BIM Visiedocument vastgelegde doelstellingen.

Het BIM **protocol** moet volgende onderdelen bevatten:

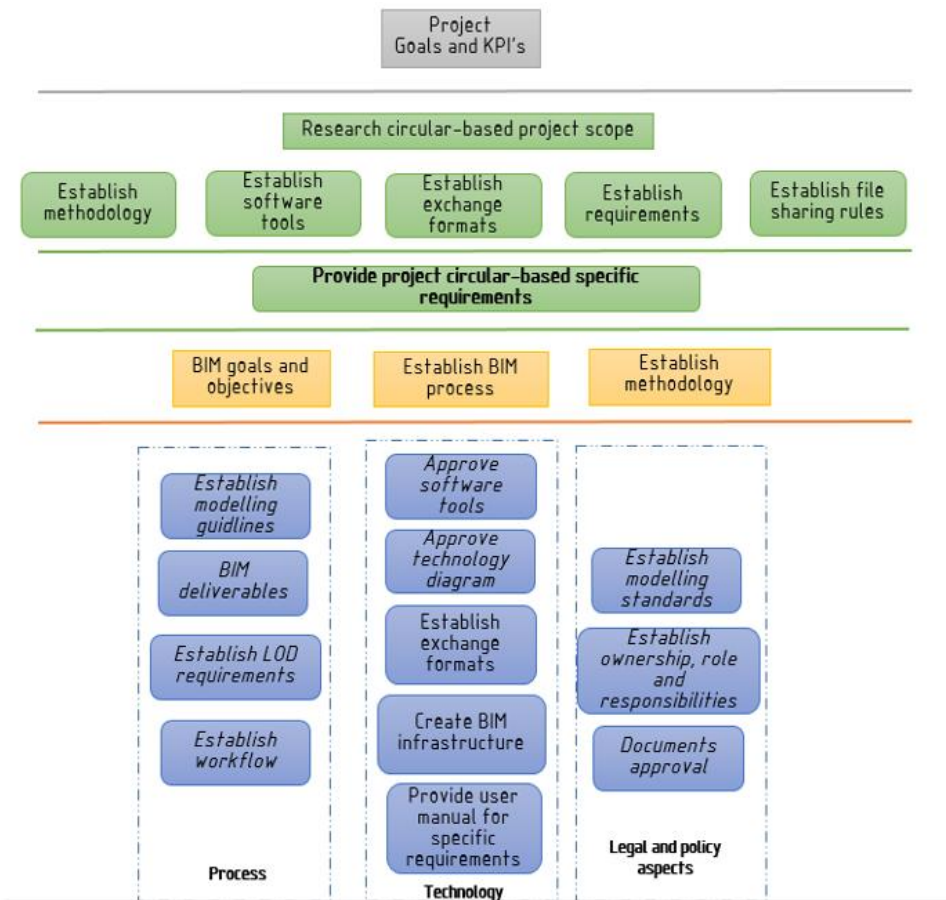
- Projectinformatie;
- BIM-doelstellingen en -toepassingen;
- Uit te wisselen informatie;
- BIM-proces en informatiebeheer;
- Taken en verantwoordelijkheden;
- BIM organigram;
- BIM processchema;
- LOD tabellen.

Het BIM **uitvoeringsplan** moet volgende onderdelen bevatten:

- Projectinformatie;
- BIM-doelstellingen en -toepassingen;
- Uit te wisselen informatie;
- BIM-proces en informatiebeheer;
- Taken en verantwoordelijkheden;
- BIM organigram;
- BIM processchema;
- LOD tabellen;
- Discipline based model authoring;
- Model based estimating & Change management;
- Construction nomenclature data.

Figuur 14 geeft een hiërarchisch overzicht van de te beschouwen onderzoeksdoelstellingen betreffende circulariteit die geïntegreerd kunnen worden in de algemene projectdoelstellingen. Daarbij dienen alle processtromen en parameters in beschouwing genomen worden. In dit stadium is het van belang alle project specifieke eisen te beoordelen: element categorieën, formaat van de invoergegevens, beschrijving van de invoergegevens en meeteenheden, element- en materiaal classificatie types, software-specifieke eisen enz. Deze acties zorgen voor de creatie van een goed gestructureerd BIM Uitvoeringsplan.

Deze procesmap kan opgenomen worden in het BIM Uitvoeringsplan dat vastlegt hoe de activiteiten worden verdeeld over de verschillende stakeholders in het proces. De procesmap definieert ook elementen zoals het niveau van detail van de LOD / LOI van het project in bepaalde stadia. Met het verzamelen van gegevens mag pas worden begonnen wanneer alle verwachte stromen zijn geïdentificeerd, aangezien dit van invloed zal zijn op het gegevensverzameling proces.



Figuur 14: Hiërarchisch overzicht van de te beschouwen onderzoeksdoelstellingen betreffende circulariteit

In termen van specifieke **modelleer afspraken** kunnen de volgende aanbevelingen worden benadrukt:

- Het mag uw eigen taal gebruiken, maar het moet een duidelijke en consistente materiaal markering zijn die eerder is goedgekeurd met de naamgevingsconventie in het BEP-document. Bijvoorbeeld beton (Cxx/xx), metaalstaal Sxxx, vermijd de markering "GEEN MATERIALEN" en tegenstrijdige definities;
- Elementen met meerdere lagen moeten worden gemodelleerd door meerdere materiaal lagen toe te wijzen, niet door objecten met verschillende eigenschappen te modelleren;
- Elementen moeten correct worden geclassificeerd. Dit voorkomt fouten bij het gebruiken en analyseren van het model en filter items;
- Daarnaast wordt aanbevolen om de materiaal classificatie in te stellen, door een keuze te maken uit de bestaande lijst of door een aangepaste instelling.

Voor de aanbesteding moet dus zoveel mogelijk geborgd worden in het BIM Visiedocument, omdat de overige documenten na gunning worden opgemaakt. Indien er outputspecificaties worden gebruikt in de procedure kunnen ook daar op te leveren aspecten van BIM vastgelegd worden. Specifiek voor circulariteit gelden volgende aanbevelingen:

- Definieer duidelijk vanuit de projectdoelstellingen wat de doelstellingen voor het gebruik van BIM zijn. (materialenpaspoorten, exploitatiemodellen, demontagemodellen,...);
- Vermeld duidelijke afspraken over verificatie en validatie van ingebouwde informatie;
- Vermeld verwachtingen voor compatibiliteit en interoperabiliteit van digitale gegevens. Lijst eventueel een aantal standaarden of software pakketten op waarvoor de ingebouwde informatie zal gebruikt worden;

- Verduidelijk verwachtingen rond de CDE en gelinkte uitwisselingsformaten (ook al wordt dit specifiek vermeld in het BIM protocol);
- Om het opmaken van het protocol, uitvoeringsplan en modelleer afspraken te anticiperen kan gevraagd worden naar een plan van aanpak in de gunningscriteria van de aanbesteding.

Conclusie

De circulariteit van een gebouw kan op verschillende manieren ondersteund worden door een doorgedreven toepassing van BIM; data uitwisseling in projectfase, project- asset en demontage modellen, neutrale uitwisselingsformaten, materiaal paspoorten, data checking en -analyse zijn de meest actuele thema's in de literatuur op dit gebied. De onderwerpen werden specifiek toegelicht ter implementatie in het aanbestedingsdossier. Algemeen kan men stellen dat de opportuniteiten voor BIM ter ondersteuning van circulariteit gekend zijn. Uitwerkingen zijn in veelvoud te vinden, maar moeten verder gestandaardiseerd worden middels internationale normering. In afwachting daarvan kunnen neutrale uitwisselingsformaten en implementatie van zoveel mogelijk indirecte normering (zoals Sfb codering) een oplossing bieden. Aanbevelingen voor het BIM visiedocument, protocol, uitvoeringsplan en modelleer afspraken werden geformuleerd.

8. Vertaling BIM Parkgebouw

Als bijlage bij de gunningsleidraad is de nota "BIM" toegevoegd met onder meer:

- concrete doelstellingen van BIM;
- nodige BIM-modellen per levensfase;
- taken, rollen en verantwoordelijkheden;
- coördinatie;
- eigendomsrecht;
- CDE;
- plan van aanpak.

De opdrachtnemer zal in overeenstemming met de in nota gestelde eisen een BIM-strategie en plan van aanpak uitwerken om zijn ontwerp en de ambities van de opdrachtgever te vertalen in een geïntegreerd 3D bouwinformatiemodel. De beschikbare templates van Buildwise (voorheen WTCB) worden verplicht gebruikt.

De offerte dient op zijn minst een volledige inhoudstabel van het BIM Protocol en BIM Uitvoeringsplan te bevatten dat dusdanig gebruikt zal worden tijdens het project. Bijkomend dient de inschrijver de hoofdstukken met betrekking tot onderstaande punten voldoende uit te werken om zo een helder beeld te schetsen van de voorgestelde BIM aanpak en het te verwachten BIM proces tijdens het project:

- het BIM processchema met de focus op zowel de ontwerp- uitvoerings- als beheerfase;
- de leveringstabel voor bouwinformatie in functie van de gevraagde BIM toepassingen;
- de kwaliteitscontrole incl. clash detectie & validatie van de vereiste LOD;
- het Common Data Environment (CDE);
- het gebruik van het exploitatiemodel tijdens de beheerfase;

Na gunning vormt deze draftversie de basis voor een definitief BIM Protocol en BIM Uitvoeringsplan dat gevalideerd dient te worden door de opdrachtgever en de BIM (Proces)Manager.

"Materialenpaspoort en BIM" is tevens een subgunningscriterium.

In een nota van maximaal 5 bladzijden licht de inschrijver toe:

- hoe de link/integratie tussen BIM en het materialenpaspoort zal gebeuren;

- welke extra's aan het materialenpaspoort worden toegevoegd die een meerwaarde zijn inzake de ambities rond circulair en flexibel bouwen (zie bijlage C: Projectdefinitie met Technische bepalingen Deel 1 Duurzaamheid en BREEAM, punt 1.5);
- hoe het materialenpaspoort zal inspelen op toekomstige standaarden;
- welke functionaliteiten aan BIM kunnen worden toegevoegd en welke LOD's aangeraden worden die een meerwaarde zijn inzake de ambities rond circulair en flexibel bouwen;
- hoe BIM en het materialenpaspoort een meerwaarde zijn bij end-of-life;
- hoe aanpassingen i.k.v. scenario-denken zich zullen vertalen naar BIM en het materialenpaspoort.

Hoe beter de link tussen BIM en materialenpaspoort, hoe groter de meerwaarde van wat wordt voorgesteld wordt aangetoond, des te hoger de score.

Een kwalitatieve beoordeling van deze nota is voorzien door de opdrachtgever.

9. Referenties

Akbarieh, A., Jayasinghe, L., Waldmann, D., & Teferle, F. (2020). BIM-based end-of-lifecycle decision making and digital deconstruction: Literature review. *Sustainability (Basel, Switzerland)*, 12(7), 2670.

Akinade OO, Oyedele LO, Ajayi SO, Bilal M, Alaka HA, Owolabi HA, et al. Design for Deconstruction (DfD): Critical success factors for diverting end-of-life waste from landfills. *Waste Manag.* 2017 Feb 1;60:3–13.

Amory J. (2019). *A guidance tool for circular building design*. TUDelft.

BAMB (2019). *User guide for Circular Building Assessment (CBA) Web Platform*.

CB'23 (2020). *Meten van circulariteit – werkafspraken voor een circulair gebouw*.

Charef, R., Alaka, H., & Emmitt, S. (2018). Beyond the third dimension of BIM: A systematic review of literature and assessment of professional views. *Journal of building engineering*, 19, 242-257.

Charef, R. (2022). The use of Building Information Modelling in the circular economy context: Several models and a new dimension of BIM (8D). *Cleaner Engineering and Technology*, 7, 100414.

CENERGIE (2019). *Cal-c Evaluatietool van de circulariteit van gebouwen*.

Claudio Perissinotti Bisoni, Carlo Brondi, Claudio Rosso, & Laura Cutaia. (2020). Towards a Global Framework to Measure and Assess Circular Economy. *Symphonya*, (1), 88-100.

Cottafava, Dario, & Ritzen, Michiel. (2021). Circularity indicator for residential buildings: Addressing the gap between embodied impacts and design aspects. *Resources, Conservation and Recycling*, 164, 105120.

Debacker, Wim, Galle, Waldo, Vandenbroucke, Mieke, Wijnants, Lien, Lam, Wai Chung, Paduart, Anne, . . . De Weerd, Yves. (2015). *Veranderingsgericht bouwen: Ontwikkeling van een beleids- en transitiekader*. OVAM; Mechelen.

Di Biccari, C., Abualdenien, J., Borrmann, A., & Corallo, A. (2019). A BIM-Based Framework to Visually Evaluate Circularity and Life Cycle Cost of buildings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 290(1), 12043.

Ellen Macarther Foundation, Granta (2019). *Circularity Indicators – An approach to measuring circularity – Methodology*.

Geraedts, R. (2016). FLEX 4.0, A Practical Instrument to Assess the Adaptive Capacity of Buildings. *Energy Procedia*, 96, 568-579.

Guerra BC, Leite F, Faust KM. 4D-BIM to enhance construction waste reuse and recycle planning: Case studies on concrete and drywall waste streams. *Waste Manag [Internet]*. 2020 Oct 1

Heinrich M., Lang W. (2020). Material passports – best practice. Innovative solutions for a transition to a circular economy in the built environment. BAMB project. Technische Universität München.

Hoeksma M., Prinsen H., Karssemeijer P., Weersink A. (2020). *Nieuwe peilstok voor circulariteit in projecten – gebiedsontwikkeling Grebbedijk als eerste beoordeeld met de circulaire peiler.*

Juan Manuel Davila Delgado, & Lukumon O Oyedele. (2020). BIM data model requirements for asset monitoring and the circular economy. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 18(5), 1269-1285.

Kubbinga B., Bamberger M, van Noort E., van den Reek D., Blok M., Roemers G., Hoek J. (2018), Faes K. *A framework for circular buildings – indicators for possible inclusion in BREEAM.* REDEVCO Foundation

Lindgreen, Erik Roos, Salomone, Roberta, & Reyes, Tatiana. (2020). A critical review of academic approaches, methods and tools to assess circular economy at the micro level. *Sustainability (Basel, Switzerland)*, 12(12), 4973.

Lovrenčić Butković, L., Mihić, M., & Sigmund, Z. (2021). Assessment methods for evaluating circular economy projects in construction: A review of available tools. *International Journal of Construction Management*, 1-10.

Van Oppen Cécile, Croon G., Bijl de Vroe D. (2018). *Circular Procurement in 8 Steps.* First edition, Copper, 2018

Madaster (2020). *Toelichting Madaster circulariteit indicator.* Madaster Services.

Mak, J.,Quelle-Dreuning, J. (2017). Circulair bouwen met de CPG! – hoe circulariteit eenvoudig meetbaar is geworden. Retrieved from www.degroenebrink.nl

Nuñez-Cacho, P., Górecki, J., Molina-Moreno, V., & Corpas-Iglesias, F. (2018). What gets measured, gets done: Development of a Circular Economy measurement scale for building industry. *Sustainability (Basel, Switzerland)*, 10(7), 2340.

OVAM. (2015). *Veranderingsgericht bouwen: ontwikkeling van een beleids- en transitiekader.* OVAM

Platform CB'23 (Circular Construction 2023). Core method for Circular economy assessment in the construction sector. [Internet]. [cited 2021 Dec 13]. Available from: <https://platformcb23.nl/english>.

Ramaji, I., Messner, J., & Mostavi, E. (2020). IFC-Based BIM-to-BEM Model Transformation. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 34(3), *Journal of computing in civil engineering*, 2020, Vol.34 (3).

Rovers, T. (2020) Ontwikkeling van een praktijkgerichte beoordelingsmethode voor het kwantificeren van de circulariteit van gebouwen: Casus starterswoning House2Start. Retrieved from: https://www.house2start.nl/wp-content/uploads/2020/12/Eindrapportage-KIEM.CIE_.04.019.pdf

Saidani, M., YANNOU, B., Leroy, Y., & Cluzel, F. (2017). How to Assess Product Performance in the Circular Economy? Proposed Requirements for the Design of a Circularity Measurement Framework. *Recycling (Basel)*, 2, *Recycling (Basel)*, 2017-03-03, Vol.2.

Tantri N. Handayani, Kartika Nur Rahma Putri, Nurul Alvia Istiqomah, & Veerasak Likhitrungsilp. (2021). The Building Information Modeling (BIM)-Based System Framework to Implement Circular Economy in Construction Waste Management. *Journal of the Civil Engineering Forum (Online)*, 8(1), *Journal of the civil engineering forum (Online)*, 2021-12-01, Vol.8 (1).

Verberne, J.J.H.. (2016). Building circularity indicators: an approach for measuring circularity of a building

Vergauwen A. (2020). *Circulair Gebouw – Leidraad meetstysteem*. WTCB-VCB.

Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings – Literature review and future needs. *Automation in Construction*, 38, 109-127.

W/E adviseurs (2020). Een inventariserend onderzoek naar een uniforme meetmethode voor circulair bouwen. Retrieved from <https://docplayer.nl/108554885-Een-inventariserend-onderzoek-naar-een-uniforme-meetmethode-voor-circulair-bouwen-versie-27-november-met-dank-aan-w-e-adviseurs.html>

WSP, 2021, Rapport Circulaire peiler, retrieved from <https://www.wsp.com/nl-NL/inzichten/2021-water-governance-nieuwe-peilstok-voor-circulariteit-in-projecten>

Claudio Perissinotti Bisoni, Carlo Brondi, Claudio Rosso, & Laura Cutaia. (2020). Towards a Global Framework to Measure and Assess Circular Economy. *Symphonya*, (1), 88-100.

<https://www.upcyclea.com/en/how-to-calculate-the-circular-signature-of-your-building/>

Xue, K., Uzzal Hossain, M., Liu, M., Ma, M., Zhang, Y., Hu, M., . . . Cao, G. (2021). BIM integrated LCA for promoting circular economy towards sustainable construction: An analytical review. *Sustainability* (Basel, Switzerland), 13(3), 1-21.

PARK EILAND
GEBOUW ZWIJNAARDE



WIJ BOUWEN MEE!

**GREEN DEAL
CIRCULAIR
BOUWEN**

VLAANDEREN
CIRCULAIR

Vlaamse
Confederatie Bouw
Bouw, energie & milieu

SAMEN MAKEN WE
MORGEN MOOIER
OVAM

voor meer info:

<https://www.circulair-parkgebouw.be>