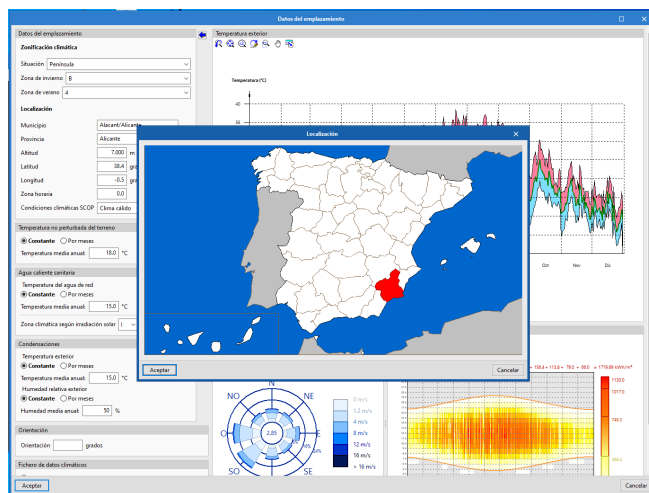
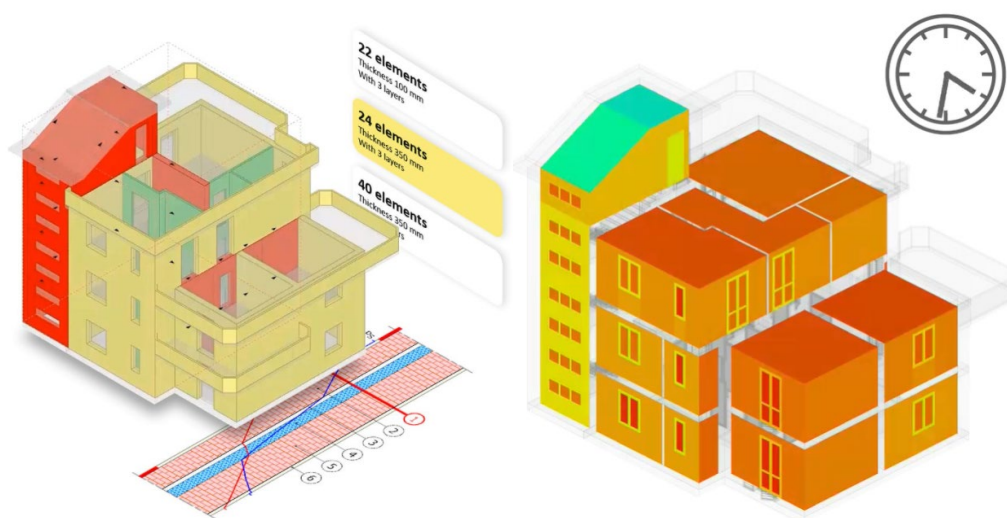


Erasmus+ prosjekt-ID: 2023-1-ES01-KA220-HED-000156652

Dette Erasmus+-prosjektet er finansiert med støtte fra Europakommisjonen. Denne publikasjonen gjenspeiler kun forfatterens synspunkter, og Europakommisjonen og Erasmus+-nasjonale byråer kan ikke holdes ansvarlig for bruk av informasjonen i publikasjonen.

## Status for bruk av BIM til energianalyse av bygninger



## Sammendrag

|                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1-Innledning .....</b>                                                       | <b>3</b>  |
| <b>2-BIM 6D i verden og Europa.....</b>                                         | <b>3</b>  |
| <b>3-Status for bruk av BIM til energianalyse av bygninger .....</b>            | <b>4</b>  |
| <b>3.1-Definisjon av BIM og BIM-applikasjoner .....</b>                         | <b>5</b>  |
| <b>3.2-Anvendelse av BIM i BEM.....</b>                                         | <b>5</b>  |
| <b>3.3-Prosess og komponenter for interoperabilitet mellom BIM og BEM .....</b> | <b>6</b>  |
| <b>3.4-Forskningsstudier om bruk av BIM i energisimulering.....</b>             | <b>7</b>  |
| <b>3.5 BIM til BEM Cype-løsninger .....</b>                                     | <b>9</b>  |
| <b>4-Konklusjoner .....</b>                                                     | <b>10</b> |
| <b>5-Referanser.....</b>                                                        | <b>10</b> |

## 1-Innledning

BIM-metodikken, i sin sjette dimensjon (BIM 6D), anser følgende to prosesser som viktige for bærekraftig modellering. Dette er livssyklusanalyse og energianalyse.

Under livssyklusanalysen tas det hensyn til ulike aspekter, som bruk av bærekraftige materialer, energieffektivitet i driftsfasen, vann- og avfallshåndtering, blant annet. Å ta hensyn til alle disse variablene fra prosjektets start gjør det lettere å ta informerte beslutninger som fremmer bærekraft og effektivitet.

I tillegg bruker energisimuleringer spesialisert programvare for å forutsi bygningens energiforbruk og evaluere ytelsen til ulike systemer og strategier, som belysning, klimaanlegg og bygningens orientering. Disse simuleringene gjør det mulig å optimalisere utformingen av bygningen og velge de beste alternativene når det gjelder energieffektivitet.

I dette prosjektet, BIM4Energy, vil BIM-baserte verktøy brukes til å evaluere energiforbruket i flere casestudier: en enebolig, et fleretasjes boligbygg og et skolebygg.

På den ene siden finnes det flere verktøy som kan lage en energimodell for bygninger (BEM) og evaluere energiforbruket i en bygning. Ut fra en rekke energimodeller (bygningens klimamodell, rommodell, modell for varme-, ventilasjons- og klimaanlegg (HVAC)) og en rekke klimaparametere, innendørs komfort og bruksforhold (starttemperaturer for utstyr), beregner BEM-verktøyene bygningens årlige energiforbruk. Figur 1 viser en oversikt over en BEM [1].

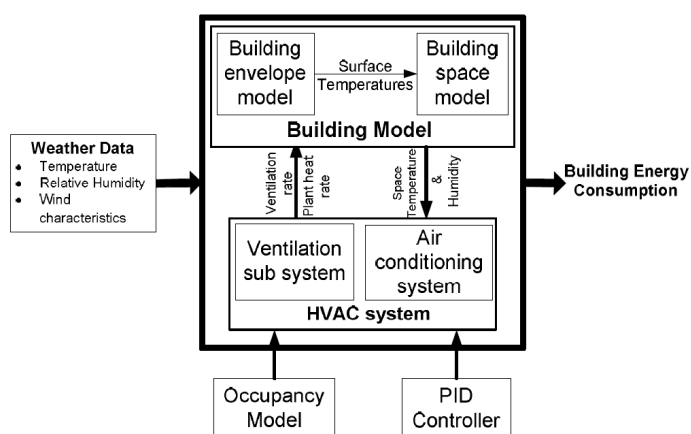


Fig.1. Overall structure of Building Energy System (BES) model [1]

Energi behov påvirkes av bygningens geometri, utstyr og brukeratferd. BIM-modeller kan lagre all denne informasjonen. BIM kan fungere som grunnlag for energianalyseprogramvare for å estimere en bygningens energibehov [2].

## 2-BIM 6D i verden og Europa

Over hele verden er det mange land og lokalsamfunn som implementerer BIM-metodikken som grunnlag for sine byggeprosjekter. Uansett om det er i større eller mindre skala, er virkningen og forbedringene som implementeringen har medført, betydelige.

Land som Dubai og USA kan nevnes som eksempler på tidlig eller banebrytende implementering av denne metoden, da de har hatt regelverk og programmer på plass siden 2003. I løpet av 2010-årene har flere

nasjoner, blant annet Chile, Australia, Canada og Sør-Korea, overvåket etableringen av retningslinjer og regelverk.

I Europa har de skandinaviske landene tatt ledelsen i implementeringen av BIM i sine prosjekter, gjennom utarbeidelse av standarder, veiledninger og rådgivning.

Når det gjelder energieffektivitet, jobbes det også hardt over hele verden for å etablere metoder for å evaluere og fastsette tiltak og implementeringer for å forbedre byggverk. Blant disse er LEED-sertifiseringen (Leadership in Energy and Environmental Design) fra US Green Building Council. Den har et klassifiseringssystem delt inn i fem kategorier (bærekraftige tomter, vannbesparelse, energi og atmosfære, materialer og ressurser og miljøkvalitet) og har fire progressive nivåer i henhold til poengsum, som vist i figur 2.



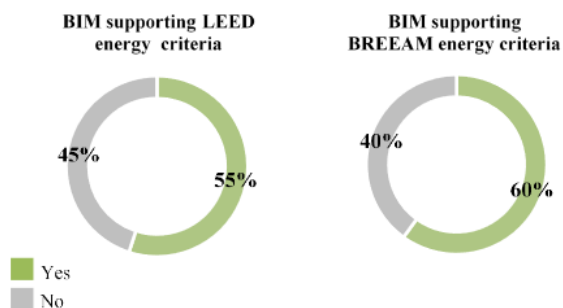
Figur 2. LEED-sertifikatnivåer

Sertifikatet er mye brukt i Amerika, særlig i USA, Canada og noen latinamerikanske byer.

Et annet viktig sertifikat er BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology), opprettet av Building Research Establishment i Storbritannia. Implementeringen siden 1990 kan beskrives som banebrytende.

På programvarenivå finnes det flere programmer som gjør det mulig å utarbeide energieffektivitetsstudier for sertifiseringsformål. «Ifølge en studie utført av Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin kan mange av BIM-programmene, plugin-modulene og andre tredjepartsapplikasjoner som er tilgjengelige på markedet for bygningsanalyse og simulering, også brukes som støtteverktøy i BIM-prosessen. Noen av dem, som ArchiCAD, Revit, Vectorworks, Ecotect, Hourly Analysis Program (HAP), Integrated Environmental Solutions (IES-VE) eller Green Building Studio (GBS), kan brukes i forskjellige typer sertifisering.» (BIM Alliance, 2024) [3].

En mulig ulempe er at, til tross for mangfoldet av programmer, må kompatibiliteten mellom programmet og ønsket sertifisering verifiseres, siden ikke alle programmer er compatible med alle sertifikater, slik at det vil være nødvendig med noen ekstra prosesser.



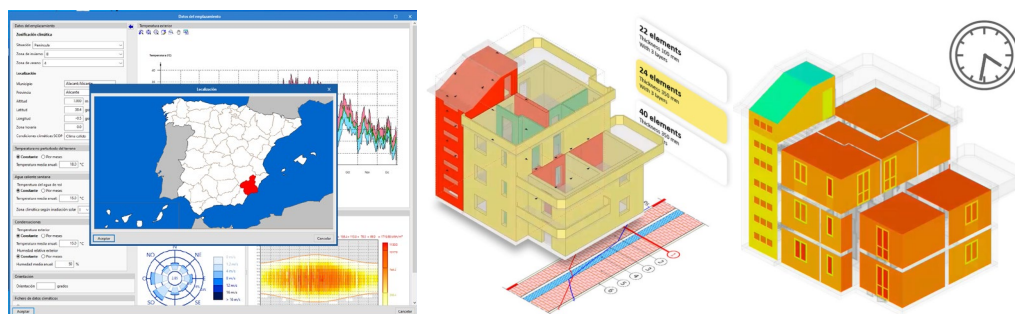
Figur 3. BIM-programvare som støtter LEED- og BREEAM-energikriterier

### 3-Nåværende status for bruk av BIM til energianalyse av bygninger

Den raske utviklingen av BIM og BIM-relaterte applikasjoner har gitt muligheter for å støtte grønne byggpraksiser, som akustisk analyse, karbonutslipp, håndtering av bygg- og rivningsavfall, belysningsanalyse, operasjonell energibruk og vannforbruk [4].

Selv om noen forfattere [5] hevder at BIM-verktøy har flere kapasitetsbegrensninger når det gjelder interoperabilitet og datautveksling mellom BIM- og BEM-verktøy, er det faktisk allerede åpne BIM-løsninger for energi effektivitetsanalyse i bygninger. Disse verktøyene leser nødvendig informasjon fra BIM-modeller, utfører energianalyse i henhold til nasjonale forskrifter og lagrer resultatene i BIM-modellen. Et eksempel er CypeTherm HE plus.

I tillegg forsøker publiserte arbeider, f.eks. [6], å utvikle en BIM-basert tilnærming som kan brukes til å vurdere bygningers termiske ytelse.



Figur 4: BIM-modell og BEM for energieffektivitetsvurdering. Kilde: Cype og ACCA-programvare

### 3.1-BIM-definisjon og BIM-applikasjoner

Definisjonen av Building Information Modeling (BIM) kan variere avhengig av innholdet i modellen. En informasjonsmodell kan for eksempel inneholde informasjon om bygningens geometri, klimaskjermkomponenter, materialer, kostnader, VVS-system, elektriske systemer og materialers termiske egenskaper. Den amerikanske nasjonale BIM-standarden (NBIMS-US) definerer BIM som «handlingen å lage en elektronisk modell av et anlegg for visualisering, teknisk analyse, konfliktanalyse, kontroll av kodekriterier, kostnadsberegning, ferdigprodukt, budsjettering og mange andre formål» [7]. Krygiel og Nies definerer BIM som «informasjon om hele bygningen og et komplett sett med prosjekteringsdokumenter lagret i en integrert database» [8]. BIM er også definert av Smith og Tardif som «en mekanisme for å overføre data til informasjon for å oppnå kunnskap som gjør det mulig for oss å handle med klokskap» [9].

Anvendelsen av Building Information Modeling (BIM) i ulike felt utvides i takt med at forskere erkjenner de potensielle fordelene det gir. Mens BIM angivelig brukes til strukturell analyse og energianalyse med en frekvens på henholdsvis 27 % og 25 %, er den primære bruken fortsatt rask utvikling av 3D-geometriske modeller og 3D-koordinering, med en bruksfrekvens på 60 % [10]. Anvendelsen av BIM er ikke begrenset til arkitekter og ingeniører.

Det er også grunner til at huseiere, anleggsledere, entreprenører og produsenter bruker BIM [11]. De viktigste faktorene som driver innføringen av BIM i prosjekter, er automatisering av modelleringsprosessen, forbedret nøyaktighet i byggedokumenter, forbedret kommunikasjon mellom partene i design- og byggeprosessen, automatisk gjenspeiling av endringer i alle visninger etter endring av én visning, og reduksjon av koordineringsproblemer på byggeplassen [11–14]. Mens de fleste BIM-applikasjoner er dedikert til bygningsdesign, har det ikke blitt lagt like stor vekt på andre områder som energimodellering, som kan refereres til som BIM-til-BEM-interoperabilitetsprosess (BBIP).

### 3.2-Anvendelse av BIM i BEM

Integrering av bygningsinformasjonsmodellering (BIM) i bygningsenergimodellering (BEM) gir mange fordeler [5]:

- Automatisering av energimodelleringsprosesser.

- Effektiv lagring og organisering av bygningsdata (f.eks. sanntidsdata).
- Forbedring av eksisterende biblioteker (f.eks. innlemming av tilleggsattributter til materialer).
- Forbedret presentasjon av energirelaterte resultater.

BIMs viktigste bidrag til energirelatert modellering, simulering og informasjonshåndtering dreier seg om å forenkle datahåndteringen. Dette kan føre til automatisering av energimodellering, forbedret presentasjon av resultater, muligheten til å lagre og organisere nye bygningsdata – særlig sanntidsinformasjon for å holde energimodellen oppdatert – og forbedring av eksisterende biblioteker ved å legge til nye attributter i standard energisimuleringsprosessen [5].

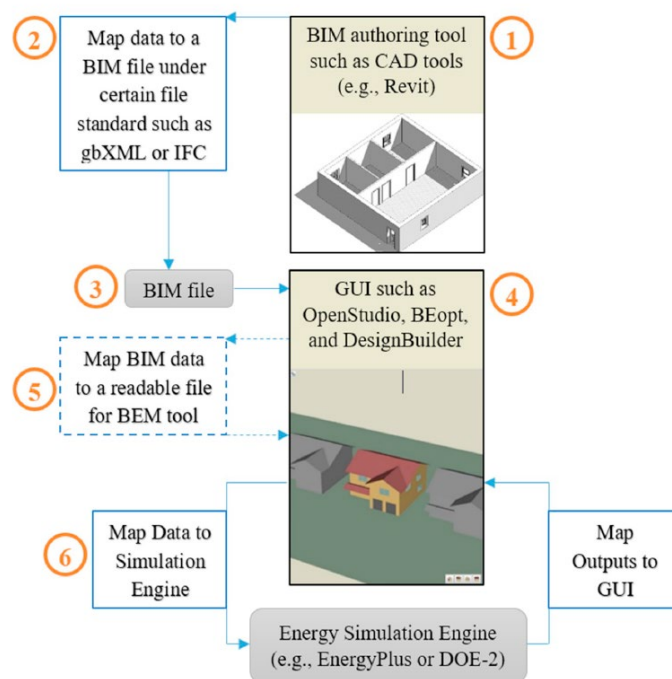
En av de viktigste fordelene ved å bruke BIM i energisimulering av bygninger er automatiseringen av modelleringsprosessen [14,15]. Denne automatiseringen kan spare tid, redusere kostnader og minimere menneskelige feil sammenlignet med tradisjonelle energimodelleringsmetoder, som innebærer utvikling av en grafisk modell i et BEM-verktøy ved hjelp av data relatert til geometri, materialeegenskaper, utstyr og tidsplaner. For eksempel gir integrering av et tillegg til et energisimuleringsverktøy som OpenStudio muligheten til å koble en BIMserver til energisimuleringsverktøyet, slik at data relatert til geometri, materialer, vindustyper og termiske egenskaper kan importeres fra en IFC-fil [14].

### 3.3-BIM-til-BEM-interoperabilitetsprosess og komponenter

For å få en omfattende forståelse av utfordringene og problemene innen BIM-til-BEM-interoperabilitetsprosessen (BBIP), er det nyttig å klassifisere de ulike komponentene som er involvert, som illustrert i figur 5. Samspillet mellom disse komponentene kan bidra til potensielle problemer og utfordringer, som er identifisert og forklart som følger [5]:

1. BIM-verktøy: Eksempler er Revit og ArchiCAD.
2. Kartlegging av bygningsinformasjon til en BIM-fil: Denne prosessen innebærer å oversette bygningsdata til et BIM-kompatibelt format.
3. BIM-filstandarder: Disse inkluderer formater som gbXML eller IFC.
4. Grafisk brukergrensesnitt (GUI) i BEM-verktøy: Eksempler er OpenStudio og DesignBuilder.
5. Kartlegging av data fra BIM-fil til en BEM-lesbar fil: Dette trinnet innebærer å konvertere BIM-data til et format som kan leses av BEM-verktøy.
6. Kartlegging av data fra GUI til en fil som kan leses av en simuleringsmotor: Denne prosessen innebærer å oversette data fra GUI til et format som er egnet for simuleringsmotorer som EnergyPlus eller DOE2.

Interoperabilitetsproblemer oppstår ofte i prosessene nummer 2, 5 og 6. Disse trinnene er kritiske punkter hvor det kan oppstå utfordringer med dataoversettelse og kompatibilitet, noe som kan føre til potensielle ineffektiviteter og feil i BBIP-arbeidsflyten.



Figur 5: BIM-til-BEM-interoperabilitetsprosess og komponent. Kilde: [5]

### 3.4-Forskning på bruk av BIM i energisimulering

Sammendraget av de gjennomgåtte forskningsstudiene om anvendelse av bygningsinformasjonsmodellering (BIM) i energisimulering er presentert i tabell 1. Det er tydelig at ArchiCAD og Revit er de dominerende BIM-redigeringsverktøyene som er brukt i disse studiene. Avhengig av forskningsfokuset, brukes enten Industry Foundation Classes (IFC) eller Green Building XML (gbXML) BIM-filskjemaer. Konvensjonelle energiverktøy i USA inkluderer OpenStudio, EnergyPlus, Green Building Studio (GBS) og eQuest, mens internasjonale verktøy som Modelica, COMETH og EnergyBuild også er tilgjengelige.

Det er observert at de fleste av de identifiserte utfordringene og problemene oppstår under kartleggingsprosessen, og disse kan kategoriseres som interoperabilitetsproblemer. Eksempler på slike utfordringer er: BIM-verktøyet overfører kanskje ikke all informasjonen i en modell, BIM-filen lagrer kanskje ikke all informasjonen riktig, Building Energy Modeling (BEM)-verktøyet leser kanskje ikke all informasjonen fra BIM-filen, og informasjonen blir kanskje ikke kartlagt og overført riktig til BEM- og energisimuleringsmotorens filformat. Imidlertid er prosessen med å kartlegge data til energisimuleringsmotoren, som angitt i komponent 6 i figur 5, ikke grundig diskutert i litteraturen og representerer et område som krever videre forskning.

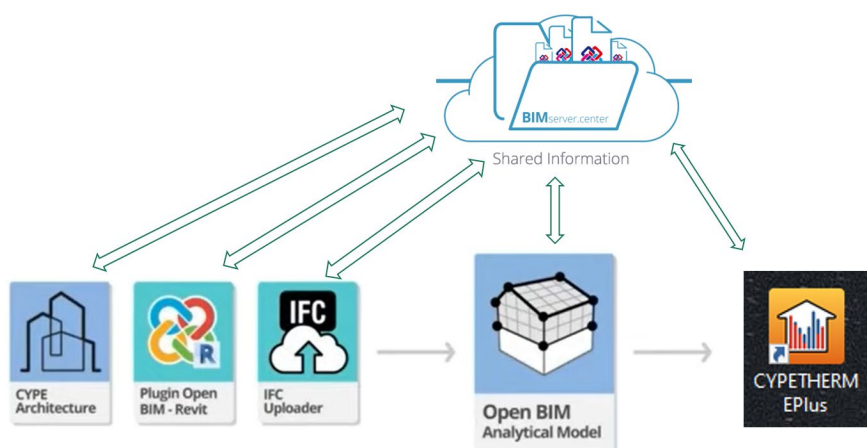
Tabell 1: Forskning på bruk av BIM i energisimuleringer. Kilde [5].

| Reference                             | BIM CAD tool   | BIM file schema | Energy tool                                               | Description of the study and adopted solutions                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------------|----------------|-----------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Epstein [16]                          | ArchiCAD       | IFC             | EnergyBuild                                               | A case study in Greece adopted BIM to BEM process as part of the project                                                                                                                                                                                                                    |
| Ramaji et al. [14]                    | –              | IFC             | OpenStudio                                                | Development of an add-on to import the data related to geometry, materials, windows types, and thermal properties from IFC file.                                                                                                                                                            |
| Yu [17]                               | Revit          | IFC             | OpenStudio                                                | Development of a middleware, which use BIMserver and Query Generator to extract required data from IFC file. Users add missing data manually and a python script convert the file to a proper format for CONTAM for air distribution analysis.                                              |
| Salakij et al. [18]                   | –              | gbXML           | Building Energy Analysis Model (BEAM) developed by Matlab | Developed an energy simulation tool using Matlab, which is capable of reading gbXML file to perform the energy analysis.                                                                                                                                                                    |
| Krygiel and Nies [19]                 | Revit          | gbXML           | GBS                                                       | Energy analysis using BIM is performed to evaluate two façade systems.                                                                                                                                                                                                                      |
| Kim et al. [20] & Jeong et al. [21]   | –              | –               | Modelica                                                  | The study is based on integration of Modelica to perform energy analysis, ModelicaBIM library to provide required data needed from BIM file, and using BIM API to retrieve data from conventional BIM tools such as Revit and ArchiCAD.                                                     |
| O'Donnell et al. [23] & Bazjanac [24] | ArchiCAD       | IFC             | EnergyPlus                                                | A semi-automated method is adopted to add the required data for energy simulation to the IDF file generated from IFC file, prior to the energy analysis in EnergyPlus.                                                                                                                      |
| El Asmi et al. [22]                   | –              | IFC             | COMETH                                                    | The study is focused on application of MVD in obtaining the required data for energy simulation (e.g., HVAC system data), which are missing through the process and using IfcPropertySet to add the data to the IFC file                                                                    |
| Santos et al. [25]                    | –              | –               | EnergyPlus                                                | Adopting mesh planarization algorithm to divide the curved surfaces into flat panels and exporting the required data from CAD tool to EnergyPlus.                                                                                                                                           |
| Karen and Douglas [26]                | Revit          | IFC             | EnergyPlus                                                | Generation of thermal zones is automated using the data obtained from Revit, provided in IFC file and the outputs obtained from EnergyPlus are visualized.                                                                                                                                  |
| Dimitriou et al. [27]                 | Revit          | gbXML           | EnergyPlus                                                | Development of a gbXML editing tool to provide the data, which lacks for energy simulation in EnergyPlus prior to generating the IDF file.                                                                                                                                                  |
| Garcia and Zhu [28]                   | –              | gbXML           | eQuest                                                    | Development of a corrective tool for modifying the gbXML file and converting it to DOE-INP file for use in eQuest.                                                                                                                                                                          |
| Egwunatum et al. [29]                 | –              | IFC             | IES VE                                                    | A case study to review the feasibility of optimization in design by linking BIM to energy simulation tool. Faster, more accurate, and detailed outputs concerning energy consumption, airflow analysis, visualization, and daylight analysis were among the benefits observed in the study. |
| Somboonwit et al. [15]                | Revit & Dynamo | gbXML           | GBS, DOE2, eQuest                                         | Automation of Building Performance Simulation (BPS) is studied using different tools in order to investigate the interoperability between them. Kinetic PV façade (KPVF) is modeled and issues such as misplaced and distorted geometry are observed.                                       |

### 3.5 BIM til BEM Cype-løsninger

Programvareselskapet Cype Ingenieros tilbyr flere Open BIM-løsninger for å utføre energisimulering av en bygning.

Cype har et felles datamiljø (CDE) kalt BIMServer.center, hvor du kan dele IFC-modeller for samme byggeprosjekt. Cype-programvaren for design av hver bygningsdisiplin er koblet til byggeprosjektet i BIMServer.Center, slik at brukerne kan dele arbeidet som er utført gjennom IFC-modeller. På denne måten kan aktørene (utviklere, bygningsingeniører, anleggsingeniører og arkitekter) som arbeider med samme prosjekt, i forskjellige disipliner, se fremdriften i arbeidet som utføres av de øvrige deltakerne.



**Figur 6** Åpen BIM-energisimulering.

Arbeidsflyten for å utføre energisimulering av en bygning ved hjelp av Cypes Open BIM-programmer består av å bruke minst tre forskjellige programmer sekvensielt (figur 6):

- Det første er *Cype Architecture*, som brukes til å bygge BIM-arkitekturmodellen
- Det andre er *Open BIM Analytical Model*, som beregner de geometriske parametrene til de forskjellige bygningsrommene som skal studeres.
- Og det tredje er *CypeTherm EPlus*, som utfører energisimuleringen.

For å karakterisere konstruksjonselementene og materialenes termiske egenskaper kan du bruke programmet *Open BIM Construction System* eller utføre dette arbeidet i *CypeTherm EPlus* før energisimuleringen.

For å lage BIM-modellen av bygningen i IFC-format finnes det to alternativer til Cype Architecture. Du kan bruke Revit og Open BIM-plugin for å lage IFC-filen og sende den til BIMServer.Center. Eller du kan lage BIM-modellen i IFC-format med et hvilket som helst annet program og laste den opp til BIMServer.Center ved hjelp av IFC Uploader.

CypeTherm EPlus utfører termisk analyse etter å ha bygget BEM, ved hjelp av EnergyPlus som beregningsmotor. Resultatrapportene er:

- Rapport om energibehov
- Rapport om energiforbruk og CO2-ekvivalente utslipp.
- Innhenting av bygningens energiklassifisering.

Med Cype Ingenieros' forslag om å utføre energisimulering av bygninger ved hjelp av BIM-modeller, er interoperabiliteten mellom de forskjellige komponentene i BBIP svært god, siden alle komponentene løses av programmer fra samme programvareselskap (CYPE).

## 4-Konklusjoner

- Integrering av Building Information Modeling (BIM) i Building Energy Modeling (BEM) gir mange fordeler: a) automatisering av energimodelleringsprosesser; b) effektiv lagring og organisering av bygningsdata (f.eks. sanntidsdata); c) forbedring av eksisterende biblioteker (f.eks. innlemming av tilleggsattributter til materialer); d) forbedret presentasjon av energirelaterte resultater.
- Det er oppdaget flere problemer i interoperabilitetsprosessen mellom BIM og BEM: BIM-verktøyet overfører kanskje ikke all informasjonen i en modell; BIM-filen lagrer kanskje ikke all informasjonen riktig; Building Energy Modeling (BEM)-verktøyet leser kanskje ikke all informasjonen fra BIM-filen; og informasjonen blir kanskje ikke kartlagt og overført riktig til BEM- og energisimuleringsmotorens filformat.
- Cype OpenBIM-løsninger for energisimuleringer av bygninger løser interoperabilitetsproblemer.

## 5-Referanser

- [1] V. S. K. V. Harish and A. Kumar 2016. Modeling and Simulation of a Simple Building Energy System. in 2016 International Conference on Microelectronics, Computing and Communications (MicroCom) Durgapur, India.
- [2] Pereira V, Santos J, Leite F and Escórcio P 2021 Using BIM to improve building energy efficiency – A scientometric and systematic review. *Energy & Buildings* 250 (2021) 1-15.
- [3] Dominguez A. *Sustainable Construction and BIM Certifications: Towards a Cleaner Future* (in Spanish) [Internet]. AlianzaBIM. 2022 [cited Apr 1, 2024]. Available in: <https://alianzabim.com/blog/certificaciones-de-construccion-sostenible-y-bim/>
- [4] Cavalliere, C., Habert, G., Raffaele, G., Osso, D., Hollberg, A., Dell'Osso, G. R., ... Hollberg, A. Continuous BIM-based assessment of embodied environmental impacts throughout the design process. *Journal of Cleaner Production*, 211 (2019), 941–952.
- [5] E. Kamel, A.M. Memari. Review of BIM's application in energy simulation: Tools, issues, and solutions. *Automation in Construction* 97 (2019) 164–180.
- [6] k. Guo, Q. Li, L. Zhang and X.Wu. BIM-based green building evaluation and optimization: A case study. *Journal of Cleaner Production* 320 (2021) 128824 1-16.
- [7] NBIMS-US, National BIM Standard-United States® Version 3, National Institute of Building Sciences, Washington, DC, (2013)
- [8] E. Krygiel, B. Nies, *Green BIM: Successful Sustainable Design With Building Information Modeling*, Wiley, Indianapolis, Indiana, 2008 (ISBN-10:9780470239605).

- [9] D.K. Smith, M. Tardif, Building Information Modeling - A Strategic Implementation Guide, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 2008 (ISBN-10:9780470250037).
- [10] R. Kreider, J. Messner, C. Dubler, Determining the frequency and impact of applying BIM for different purposes on projects, Proceeding 6th International Conference on Innovation in Architecture, Engineering and Construction (AEC), Pennsylvania State University, University Park, PA, USA,
- [11] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, K. Liston, BIM Handbook, A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors, John Wiley & Sons, New Jersey, 978-0-470-54137-1, 2011.
- [12] J.-H. Woo, C. Diggelman, B. Abushakra, BIM-based energy monitoring with XML parsing engine, Proceeding of the 28th ISARC, Seoul, Korea, 2011, pp. 544-545.
- [13] N.W. Young Jr., S.A. Jones, H.M. Bernstein, J.E. Gudgel, The business value of BIM, McGraw Hill, New York, (2009).
- [14] I.J. Ramaji, J.I. Messner, R.M. Leicht, Leveraging building information models in IFC to perform energy analysis in OpenStudio, ASHRAE and IBPSA-USA SimBuild 2016, Salt Lake City, 2016
- [15] N. Somboonwit, A. Boontore, Y. Rugwongwan, Obstacles to the automation of building performance simulation: adaptive building integrated photovoltaic (BIPV) design, 5th AMER International Conference on Quality of Life, 25-27 February 2017, Bangkok, Thailand, 2017, <https://doi.org/10.21834/e-bpj.v2i5.619>.
- [16] E. Epstein, Implementing Successful Building Information Modeling, Artech House, 2012 (ISBN-10: 9781608071395).
- [17] N. Yu, Information interoperability between building information modeling authoring tools and simulation tools to support energy efficient building design, Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science, Information Sciences and Technology, The Pennsylvania State University, University Park, 2014.
- [18] S. Salakij, N. Yu, S. Paolucci, P. Antsaklis, Model-Based Predictive Control for building energy management. I: energy modeling and optimal control, Energ. Buildings 133 (2016) 345-358, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.09.044>.
- [19] E. Krygiel, B. Nies, Green BIM: Successful Sustainable Design With Building Information Modeling, Wiley, Indianapolis, Indiana, 2008 (ISBN-10: 9780470239605).
- [20] J.B. Kim, W. Jeong, M.J. Clayton, J.S. Haberl, W. Yan, Developing a physical BIM library for building thermal energy simulation, Autom. Constr. 50 (2015) 16-28, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.10.011>.
- [21] W. Jeong, J.B. Kim, M.J. Clayton, J.S. Haberl, W. Yan, Translating Building Information Modeling to Building Energy Modeling Using Model View Definition, Hindawi Publishing Corporation, 2014, pp. 1-21, <https://doi.org/10.1155/2014/638276>.
- [22] E. El Asmi, S. Robert, B. Haas, K. Zreik, A standardized approach to BIM and energy simulation connection, Int. J. Des. Sci. Technol. 21 (1) (2015) 1630-7267 (ISSN 1630 - 7267).
- [23] J. O'Donnell, R. See, C. Rose, T. Maile, V. Bazjanac, P. Haves, SimModel: a domain data model for whole building energy simulation, 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, 2011.
- [24] V. Bazjanac, IFC BIM-based methodology for semi-automated building energy performance simulation, 25th International Conference on Information Technology in Construction, Santiago, Chile, 2008.
- [25] L. Santos, S. Schleicher, L. Caldas, Automation of CAD models to BEM models for performance based goal-oriented design methods, Build. Environ. 112 (2017) 144-158, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.10.015>.

- [26] K. Karen, N. Douglas, Automated Energy Performance Visualization for BIM, Building Information Modeling: BIM in Current and Future Practice, Wiley, 2014, pp. 119-128, <https://doi.org/10.1002/9781119174752.ch9>.
- [27] V. Dimitriou, S.K. Firth, T.M. Hassan, F. Fouchal, BIM enabled building energy modelling: development and verification of a GBXML to IDF conversion method, Proceedings of the 3rd IBPSA-England Conference BSO 2016, Newcastle, 12th-14<sup>th</sup> September 2016.
- [28] E. Guzman Garcia, Z. Zhu, Interoperability from building design to building energy modeling, J. Build. Eng. 1 (2015) 33-41, <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2015.03.001>.
- [29] E.I. Samuel, E. Joseph-Akwara, A. Richard, Assessment of energy utilization and leakages in buildings with building information model energy, Front. Archit. Res. 6 (2017) 29-41, <https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.01.002>.