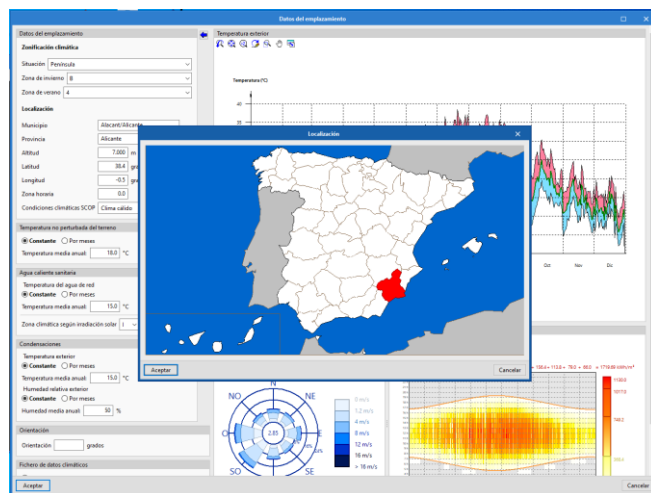
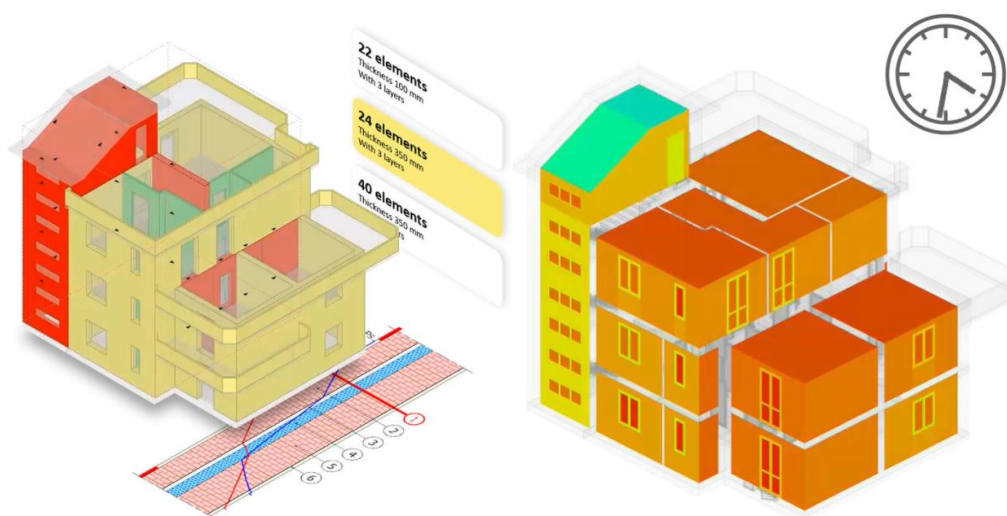


Proiect Erasmus+ ID: 2023-1-ES01-KA220-HED-000156652

Acest proiect Erasmus+ a fost finanțat cu sprijinul Comisiei Europene. Această publicație reflectă numai opiniile autorilor, iar Comisia Europeană și agențiile naționale Erasmus+ nu pot fi trase la răspundere pentru utilizarea informațiilor conținute în aceasta.

Stadiul actual al utilizării BIM pentru analiza energetică a clădirilor



Rezumat

1-Introducere.....	3
2-BIM 6D în lume și în Europa.....	3
3-Stadiul actual al utilizării BIM pentru analiza energetică a clădirilor.....	4
3.1-Definiția BIM și aplicațiile BIM.....	5
3.2-Aplicarea BIM în BEM.....	5
3.3-Procesul și componentele interoperabilității BIM-BEM.....	6
3.4-Studii de cercetare privind utilizarea BIM în simularea energetică.....	7
3.5 Soluții BIM-BEM Cype.....	9
4-Concluzii.....	10
5-Referințe.....	10

1-Introducere.

Metodologia BIM, în cea de-a șasea dimensiune (BIM 6D), consideră următoarele două procese ca fiind importante pentru modelarea sustenabilității. Acestea sunt analiza ciclului de viață și analiza energetică.

În timpul analizei ciclului de viață, sunt luate în considerare diverse aspecte, cum ar fi utilizarea materialelor durabile, eficiența energetică în faza operațională, gestionarea apei și a deșeurilor, printre altele. Luarea în considerare a tuturor acestor variabile încă de la începutul proiectului facilitează luarea unor decizii informate care promovează durabilitatea și eficiența.

În plus, simulările energetice utilizează software specializat pentru a prognoza consumul de energie al clădirii și pentru a evalua performanța diferitelor sisteme și strategii, cum ar fi iluminatul, climatizarea și orientarea clădirii. Aceste simulări permit optimizarea proiectării clădirii și selectarea celor mai bune opțiuni în ceea ce privește eficiența energetică.

În cadrul acestui proiect, BIM4Energy, vor fi utilizate instrumente bazate pe BIM pentru a evalua consumul de energie al mai multor studii de caz: o casă unifamilială, o clădire rezidențială cu mai multe etaje și o clădire educațională.

Pe de o parte, există mai multe instrumente capabile să creeze modelul energetic al clădirii (BEM) și să evalueze consumul de energie al unei clădiri. Pe baza unei serii de submodele energetice (modelul anvelopei clădirii, modelul spațiului clădirii, modelul sistemului de încălzire, ventilație și climatizare (HVAC)) și a unei serii de parametri climatici, condiții de confort interior și de ocupare (temperaturile de pornire ale echipamentelor), instrumentele BEM calculează consumul anual de energie al clădirii. Figura 1 prezintă o schiță a unui BEM [1].

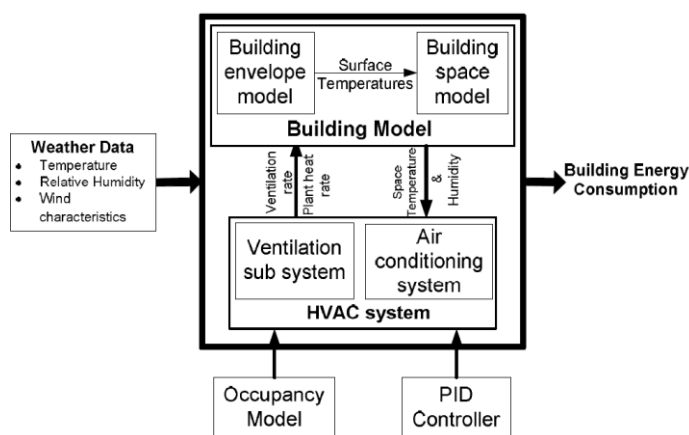


Fig.1. Overall structure of Building Energy System (BES) model [1]

Necesarul de energie este influențat de geometria clădirii, echipamentele și comportamentul utilizatorilor. Modelele BIM pot stoca toate aceste informații. BIM poate servi ca bază pentru software-ul de analiză energetică pentru a estima necesarul de energie al unei clădiri [2].

2-BIM 6D în lume și în Europa

În întreaga lume, există numeroase țări și comunități care implementează metodologia BIM ca bază pentru proiectele lor de construcții. Fie că este vorba de proiecte la scară mai mare sau mai mică, impactul și îmbunătățirile aduse de implementarea acesteia sunt considerabile.

Țări precum Dubai și Statele Unite pot fi citate ca exemple de implementare timpurie sau pionieră a acestei metode, deoarece au reglementări și programe în vigoare încă din 2003. În anii 2010, mai multe țări, precum Chile, Australia, Canada, Coreea de Sud, printre altele, au supravegheat stabilirea de linii directoare și reglementări.

În Europa, țările scandinave au fost cele care au preluat inițiativa în implementarea BIM în proiectele lor, prin crearea de standarde, ghiduri și recomandări.

În ceea ce privește eficiența energetică, se depun eforturi susținute la nivel mondial pentru a stabili modalități de evaluare și implementare a măsurilor de îmbunătățire a construcțiilor. Printre acestea se numără certificarea LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), acordată de US Green Building Council. Aceasta are un sistem de evaluare împărțit în 5 categorii (situri durabile, economisirea apei, energie și atmosferă, materiale și resurse și calitatea mediului) și patru niveluri progresive în funcție de punctaj, vizibile în figura 2.



Figura 2. Nivelurile certificatului LEED

Certificatul este utilizat pe scară largă în America, în special în Statele Unite, Canada și unele orașe din America Latină.

Un alt certificat important este BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology), creat de Building Research Establishment din Regatul Unit. Implementarea sa începând cu 1990 poate fi descrisă ca fiind pionieră.

La nivel de software, mai multe programe permit generarea de studii de eficiență energetică în scopul certificării. *„Conform unui studiu realizat de Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, multe dintre programele BIM, plugin-urile și alte aplicații terțe disponibile pe piață pentru analiza și simularea clădirilor pot fi utilizate și ca instrumente de sprijin în procesul BIM. Unele dintre acestea, precum ArchiCAD, Revit, Vectorworks, Ecotect, Hourly Analysis Program (HAP), Integrated Environmental Solutions (IES-VE) sau Green Building Studio (GBS), pot fi utilizate în diferite tipuri de certificare.”* (BIM Alliance, 2024) [3].

Un posibil dezavantaj este că, în ciuda varietății programelor, trebuie verificată compatibilitatea programului cu certificarea dorită, deoarece nu toate programele sunt compatibile cu toate certificatele, astfel încât ar trebui să se recurgă la un proces suplimentar.

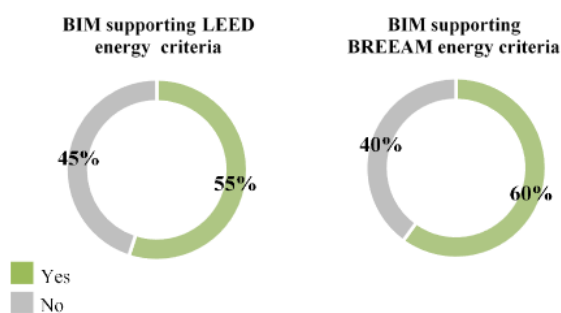


Figura 3. Software BIM care acceptă criteriile energetice LEED și BREAM

3-Stadiul actual al utilizării BIM pentru analiza energetică a clădirilor

Dezvoltarea rapidă a BIM și a aplicațiilor legate de BIM a oferit oportunități de sprijinire a practicilor de construcție ecologică, cum ar fi analiza acustică, emisiile de carbon, gestionarea deșeurilor din construcții și demolări, analiza iluminatului, consumul de energie operațională și consumul de apă [4].

Deși unii autori [5] susțin că instrumentele BIM au mai multe limitări de capacitate în ceea ce privește interoperabilitatea și schimbul de date între instrumentele BIM și BEM, adevărul este că există deja soluții Open BIM pentru analiza eficienței energetice a clădirilor. Aceste instrumente citesc informațiile necesare din modelele BIM, efectuează analiza energetică în conformitate cu reglementările naționale și salvează rezultatele în modelul BIM. Un exemplu este CypeTherm HE plus.

În plus, lucrări publicate, de exemplu [6], încearcă să dezvolte o abordare bazată pe BIM care poate fi utilizată pentru evaluarea performanței termice a clădirilor.

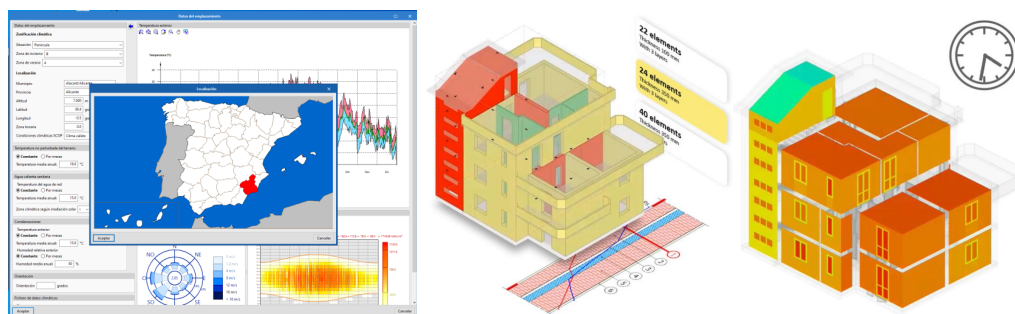


Figura 4: Model BIM și BEM pentru evaluarea eficienței energetice. Sursa: software Cype și ACCA

3.1-Definiția BIM și aplicațiile BIM

Definiția modelării informațiilor despre clădiri (BIM) poate varia în funcție de conținutul modelului. De exemplu, un model informațional poate include informații despre geometria clădirii, componentele anvelopei, materiale, costuri, sistemul HVAC, sistemele electrice și proprietățile termice ale materialelor. Standardul național BIM din SUA (NBIMS-US) definește BIM ca „actul de creare a unui model electronic al unei instalații în scopul vizualizării, analizei ingineresti, analizei conflictelor, verificării criteriilor de cod, ingineriei costurilor, produsului construit, bugetării și multor alte scopuri” [7]. Krygiel și Nies definesc BIM ca „informații despre întreaga clădire și un set complet de documente de proiectare stocate într-o bază de date integrată” [8]. BIM este definit și de Smith și Tardif ca „un mecanism de transfer de la date la informații pentru a obține cunoștințele care ne permit să acționăm cu înțelepciune” [9].

Aplicarea modelării informațiilor despre clădiri (BIM) în diverse domenii se extinde pe măsură ce cercetătorii recunosc potențialele beneficii pe care le oferă. Deși se raportează că BIM este utilizat pentru analiza structurală și energetică cu frecvențe de 27% și, respectiv, 25%, utilizarea sa principală rămâne dezvoltarea rapidă a modelelor geometrice 3D și coordonarea 3D, cu o frecvență de utilizare de 60% [10]. Aplicarea BIM nu se limitează la arhitecți și ingineri.

Există, de asemenea, motive pentru ca proprietarii de case, administratorii de facilități, antreprenorii și producătorii să utilizeze BIM [11]. Factorii cheie care determină adoptarea BIM în proiecte includ automatizarea procesului de modelare, îmbunătățirea preciziei documentelor de construcție, îmbunătățirea comunicării între părțile implicate în procesul de proiectare și construcție, reflectarea automată a modificărilor în toate vizualizările după modificarea unei vizualizări și reducerea problemelor de coordonare pe teren [11-14]. În timp ce majoritatea aplicațiilor BIM sunt dedicate proiectării clădirilor, nu s-a acordat o importanță echivalentă altor domenii, cum ar fi modelarea energetică, care poate fi denumită procesul de interoperabilitate BIM-BEM (BBIP).

3.2-Aplicarea BIM în BEM

Integrarea modelării informațiilor despre clădiri (BIM) în modelarea energetică a clădirilor (BEM) prezintă numeroase avantaje [5]:

- Automatizarea proceselor de modelare energetică.
- Stocarea și organizarea eficientă a datelor privind clădirile (de exemplu, date în timp real).
- Îmbunătățirea bibliotecilor existente (de exemplu, incorporarea de atribute suplimentare pentru materiale).
- Îmbunătățirea prezentării rezultatelor legate de energie.

Contribuțiile principale ale BIM la modelarea, simularea și gestionarea informațiilor legate de energie se concentrează pe facilitarea gestionării datelor. Acest lucru poate duce la automatizarea modelării energetice, la o prezentare îmbunătățită a rezultatelor, la capacitatea de a stoca și organiza date noi despre clădiri – în special informații în timp real pentru a menține un model energetic actualizat – și la îmbunătățirea bibliotecilor existente prin adăugarea de noi atribute la procesul standard de simulare energetică [5].

Unul dintre avantajele semnificative ale aplicării BIM în simularea energetică a clădirilor este automatizarea procesului de modelare [14,15]. Această automatizare poate economisi timp, reduce costurile și minimiza erorile umane în comparație cu metodele tradiționale de modelare energetică, care implică dezvoltarea unui model grafic într-un instrument BEM utilizând date legate de geometrie, proprietățile materialelor, echipamente și programe. De exemplu, integrarea unui add-on într-un instrument de simulare energetică, cum ar fi OpenStudio, oferă posibilitatea de a conecta un BIMserver la instrumentul de simulare energetică, permițând importul de date referitoare la geometrie, materiale, tipuri de ferestre și proprietăți termice dintr-un fișier IFC [14].

3.3-Procesul și componentele interoperabilității BIM-BEM

Pentru a înțelege pe deplin provocările și problemele din cadrul procesului de interoperabilitate BIM-BEM (BBIP), este util să se clasifice diferitele componente implicate, așa cum se ilustrează în figura 5. Interacțiunile dintre aceste componente pot contribui la apariția unor potențiale probleme și provocări, care sunt identificate și explicate după cum urmează [5]:

1. Instrumente BIM: exemple includ Revit și ArchiCAD.
2. Maparea informațiilor despre clădiri într-un fișier BIM: acest proces implică traducerea datelor despre clădiri într-un format compatibil cu BIM.
3. Standarde pentru fișiere BIM: Acestea includ formate precum gbXML sau IFC.
4. Interfața grafică cu utilizatorul (GUI) în instrumentele BEM: exemple includ OpenStudio și DesignBuilder.
5. Maparea datelor dintr-un fișier BIM într-un fișier citibil de BEM: această etapă implică convertirea datelor BIM într-un format care poate fi citit de instrumentele BEM.
6. Maparea datelor din GUI într-un fișier care poate fi citit de un motor de simulare: acest proces implică traducerea datelor din GUI într-un format adecvat pentru motoare de simulare precum EnergyPlus sau DOE2.

Problemele de interoperabilitate apar adesea din procesele numerotate 2, 5 și 6. Acești pași sunt puncte critice în care pot apărea provocări legate de traducerea datelor și compatibilitate, ceea ce poate duce la ineficiențe și erori potențiale în fluxul de lucru BBIP.

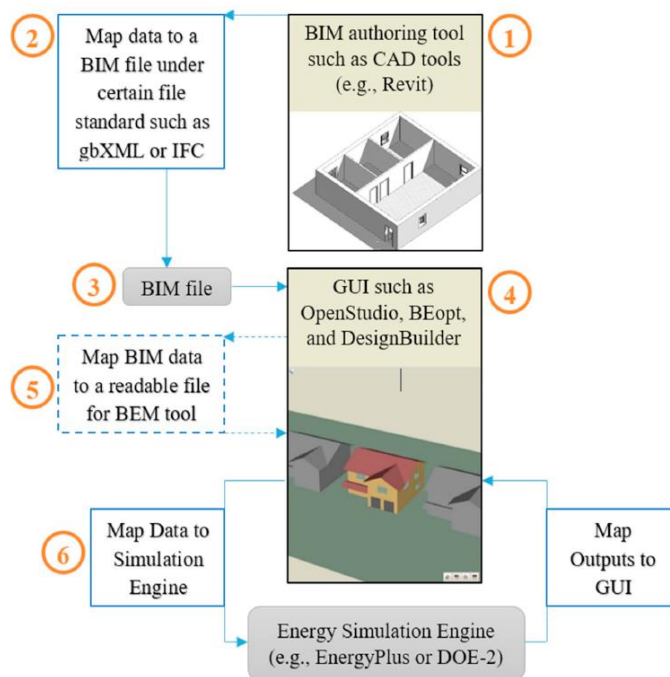


Figura 5: Procesul și componentele interoperabilității BIM-BEM. Sursa: [5]

3.4-Studii de cercetare privind utilizarea BIM în simularea energetică

Rezumatul studiilor de cercetare analizate privind aplicarea modelării informațiilor despre clădiri (BIM) în simularea energetică este prezentat în tabelul 1. Este evident că ArchiCAD și Revit sunt instrumentele de creare BIM predominante utilizate în aceste studii. În funcție de obiectivul cercetării, se utilizează schemele de fișiere BIM Industry Foundation Classes (IFC) sau Green Building XML (gbXML). Instrumentele energetice convenționale din Statele Unite includ OpenStudio, EnergyPlus, Green Building Studio (GBS) și eQuest, fiind disponibile și instrumente internaționale precum Modelica, COMETH și EnergyBuild.

Se observă că majoritatea provocărilor și problemelor identificate apar în timpul procesului de mapare, care pot fi clasificate în probleme de interoperabilitate. Exemple de astfel de provocări includ: instrumentul BIM poate să nu transfere toate informațiile dintr-un model, fișierul BIM poate să nu salveze corect toate informațiile, instrumentul Building Energy Modeling (BEM) poate să nu citească toate informațiile din fișierul BIM, iar informațiile pot să nu fie mapate și transferate corect în formatul de fișier al motorului BEM și al motorului de simulare energetică. Cu toate acestea, procesul de mapare a datelor către motorul de simulare energetică, așa cum este indicat în componenta 6 din figura 5, nu este discutat în detaliu în literatura de specialitate și reprezintă un domeniu care necesită cercetări suplimentare.

Tabelul 1: Studii de cercetare privind utilizarea BIM în simulările energetice. Sursa [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 Soluții BIM către BEM Cype

Compania de software Cype Ingenieros oferă mai multe soluții Open BIM pentru realizarea simulării energetice a unei clădiri.

Cype dispune de un mediu comun de date (CDE), numit BIMServer.center, unde puteți partaja modelele IFC ale aceluiași proiect de construcție. Software-ul de proiectare Cype pentru fiecare disciplină de construcție este conectat la Proiectul de construcție din BIMServer.Center, astfel încât utilizatorii să poată partaja lucrările realizate prin intermediul modelelor IFC. În acest fel, agenții (dezvoltatori, ingineri structurali, ingineri de instalații și arhitecți) care lucrează la același proiect, în diferite discipline, pot vedea progresul lucrărilor efectuate de restul participanților.

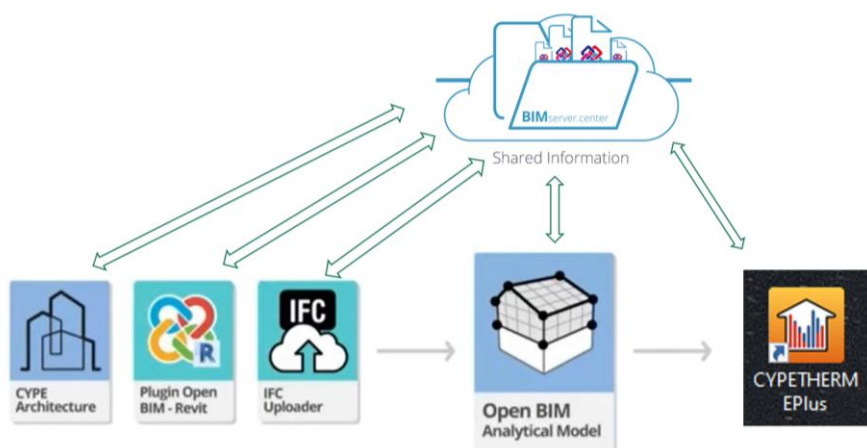


Figura 6 Fluxul de lucru Open BIM pentru simularea energetică.

Fluxul de lucru pentru realizarea simulării energetice a unei clădiri utilizând programele Open BIM ale Cype constă în utilizarea secvențială a cel puțin 3 programe diferite (Figura 6):

- Primul este *Cype Arquitecture*, cu ajutorul căruia se construiește modelul arhitectural BIM
- Al doilea este *modelul analitic Open BIM*, care calculează parametrii geometrici ai diferitelor spații ale clădirii care urmează să fie studiate.
- Al treilea este *CypeTherm EPlus*, care efectuează simularea energetică.

Pentru a caracteriza elementele de construcție, precum și proprietățile termice ale materialelor, puteți utiliza programul *Open BIM Construction System* sau puteți efectua această operațiune în *CypeTherm EPlus*, înainte de simularea energetică.

Pentru a crea modelul BIM al clădirii în format IFC, există două alternative la Cype Arquitecture. Puteți utiliza Revit și plugin-ul Open BIM pentru a crea IFC și a-l trimite la BIMServer.Center. Sau puteți crea modelul BIM în format IFC cu orice alt program și îl puteți încărca pe BIMServer.Center utilizând IFC Uploader.

CypeTherm EPlus efectuează analiza termică, după construirea BEM, utilizând EnergyPlus ca motor de calcul. Rapoartele de rezultate sunt:

- Raport privind cererea de energie
- Raport privind consumul de energie și emisiile echivalente de CO₂ produse.
- Obținerea clasei energetice a clădirii.

Cu propunerea Cype Ingenieros de a efectua simularea energetică a clădirilor folosind modele BIM, interoperabilitatea între diferitele componente ale BBIP este foarte bună, deoarece toate componentele sunt rezolvate de programe ale aceleiași companii de software (CYPE).

4-Concluzii

- Integrarea modelării informațiilor despre clădiri (BIM) în modelarea energetică a clădirilor (BEM) prezintă numeroase avantaje: a) automatizarea proceselor de modelare energetică; b) stocarea și organizarea eficientă a datelor despre clădiri (de exemplu, date în timp real); c) îmbunătățirea bibliotecilor existente (de exemplu, incorporarea de atribute suplimentare pentru materiale); d) îmbunătățirea prezentării rezultatelor legate de energie.
- Au fost detectate mai multe probleme în procesul de interoperabilitate BIM-BEM: instrumentul BIM poate să nu transfere toate informațiile dintr-un model; fișierul BIM poate să nu salveze corect toate informațiile; instrumentul de modelare energetică a clădirilor (BEM) poate să nu citească toate informațiile din fișierul BIM; și informațiile pot să nu fie mapate și transferate corect în formatul de fișier al motorului de simulare energetică BEM.
- Soluțiile Cype OpenBIM pentru simularea energetică a clădirilor rezolvă problemele de interoperabilitate.

5-Referințe

- [1] V. S. K. V. Harish și A. Kumar 2016. Modelarea și simularea unui sistem energetic simplu pentru clădiri. în Conferința internațională din 2016 privind microelectronica, calculul și comunicațiile (MicroCom) Durgapur, India.
- [2] Pereira V, Santos J, Leite F și Escórcio P 2021 Utilizarea BIM pentru îmbunătățirea eficienței energetice a clădirilor – O analiză scientometrică și sistematică. *Energy & Buildings* 250 (2021) 1-15.
- [3] Dominguez A. *Construcții durabile și certificări BIM: către un viitor mai curat* (în spaniolă) [Internet]. AlianzaBIM. 2022 [consultat la 1 aprilie 2024]. Disponibil la: <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. Evaluarea continuă bazată pe BIM a impactului asupra mediului pe parcursul procesului de proiectare. *Journal of Cleaner Production*, 211 (2019), 941–952.
- [5] E. Kamel, A.M. Memari. Analiza aplicării BIM în simularea energetică: instrumente, probleme și soluții. *Automation in Construction* 97 (2019) 164–180.
- [6] k. Guo, Q. Li, L. Zhang și X.Wu. Evaluarea și optimizarea clădirilor ecologice bazate pe BIM: un studiu de caz. *Journal of Cleaner Production* 320 (2021) 128824 1-16.
- [7] NBIMS-US, Standardul național BIM - Statele Unite® Versiunea 3, Institutul Național de Științe ale Construcțiilor, Washington, DC, (2013)
- [8] E. Krygiel, B. Nies, *Green BIM: Proiectare durabilă de succes cu modelarea informațiilor despre clădiri*, Wiley, Indianapolis, Indiana, 2008 (ISBN-10:9780470239605).

- [9] D.K. Smith, M. Tardif, Modelarea informațiilor despre clădiri - Ghid strategic de implementare, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 2008 (ISBN-10:9780470250037).
- [10] R. Kreider, J. Messner, C. Dubler, Determinarea frecvenței și impactului aplicării BIM în diferite scopuri în cadrul proiectelor, Lucrările celei de-a 6-a Conferințe internaționale privind inovarea în arhitectură, inginerie și construcții (AEC), Universitatea de Stat din Pennsylvania, University Park, PA, SUA,
- [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, Monitorizarea energiei bazată pe BIM cu motor de parsare XML, Lucrările celei de-a 28-a ediții a ISARC, Seul, Coreea, 2011, pp. 544–545.
- [13] N.W. Young Jr., S.A. Jones, H.M. Bernstein, J.E. Gudgel, Valoarea comercială a BIM, McGraw Hill, New York, (2009).
- [14] I.J. Ramaji, J.I. Messner, R.M. Leicht, Utilizarea modelelor de informații despre clădiri în IFC pentru a efectua analize energetice în OpenStudio, ASHRAE și 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 februarie 2017, Bangkok, Thailanda, 2017, <https://doi.org/10.21834/e-bpj.v2i5.619>.
- [16] E. Epstein, Implementarea modelării informaționale a clădirilor, Artech House, 2012 (ISBN-10: 9781608071395).
- [17] N. Yu, Interoperabilitatea informațiilor între instrumentele de creare a modelelor informaționale pentru clădiri și instrumentele de simulare pentru a sprijini proiectarea clădirilor eficiente din punct de vedere energetic, prezentată în vederea îndeplinirii parțiale a cerințelor pentru obținerea diplomei de master în științe și tehnologii informaționale, Universitatea de Stat din Pennsylvania, University Park, 2014.
- [18] S. Salakij, N. Yu, S. Paolucci, P. Antsaklis, Control predictiv bazat pe modele pentru gestionarea energiei în clădiri. I: modelarea energiei și controlul optim, Energ. Buildings 133 (2016) 345–358, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.09.044>.
- [19] E. Krygiel, B. Nies, Green BIM: Proiectare durabilă de succes cu modelarea informațiilor despre clădiri, 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, O abordare standardizată a conexiunii dintre BIM și simularea energetică, 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: un model de date de domeniu pentru simularea energetică a clădirilor întregi, a 12-a Conferință a Asociației Internaționale pentru Simularea Performanței Clădirilor, Sydney, 2011.
- [24] V. Bazjanac, Metodologie bazată pe IFC BIM pentru simularea semi-automatizată a performanței energetice a clădirilor, a 25-a Conferință internațională privind tehnologia informației în construcții, Santiago, Chile, 2008.

- [25] L. Santos, S. Schleicher, L. Caldas, Automatizarea modelelor CAD în modele BEM pentru metode de proiectare orientate către performanță, Build. Environ. 112 (2017) 144–158, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.10.015>.
- [26] K. Karen, N. Douglas, Vizualizarea automată a performanței energetice pentru BIM, Modelarea informațiilor despre clădiri: BIM în practica actuală și viitoare, Wiley, 2014, pp. 119–128, <https://doi.org/10.1002/9781119174752.ch9>.
- [27] V. Dimitriou, S.K. Firth, T.M. Hassan, F. Fouchal, Modelarea energetică a clădirilor cu ajutorul BIM: dezvoltarea și verificarea unei metode de conversie GBXML în IDF, Proceedings of the 3rd IBPSA-England Conference BSO 2016, Newcastle, 12-14 septembrie 2016.
- [28] E. Guzman Garcia, Z. Zhu, Interoperabilitatea de la proiectarea clădirilor la modelarea energetică a clădirilor, 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, Evaluarea utilizării energiei și a pierderilor în clădiri cu model energetic bazat pe informații despre clădiri, Front. Archit. Res. 6 (2017) 29–41, <https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.01.002>.