

Tudományos Diákköri Konferencia

Épületek energetikai analízisének innovatív módszerei

Hajdu Árpád

Hegedűs Dániel László

Tóth Olivér

Építészmérnöki szak

3. évfolyam

Összefoglaló

Egy olyan korszakban élünk, amelyben a fenntarthatóság és az energiahatékonyság az építészetben egyre fontosabb tényezők, továbbá a fejlett technológiai eszközök és elemzési módszerek átalakítják az épületek tervezését és építését. Az energetikai elemzési módszerek, beleértve a parametrikus modellezést és a mesterséges intelligenciát, példátlan lehetőségeket kínálnak az építésznek az energiateljesítmény átfogó értékelésére és optimalizálására az épület teljes életciklusa során. Ez a tanulmány az energiaelemzési módszerek széles körét tekinti át, beleértve a külön erre a célra kifejlesztett szoftvereszközöket, a beépített alkalmazásokat, a parametrikus eszközöket és a mesterséges intelligenciát. A továbbiakban ezt a három módszertant hasonlítjuk össze egy szempontrendszer alapján egy saját esettanulmányon keresztül. Kiemeljük az egyes módszerek előnyeit és korlátait, hangsúlyt fektetve a modell alapú módszerekre.

A dedikált szoftverek egyszerűsítik az energetikai vizsgálatokat, de manuális adatbevitelt igényelnek, ami korlátozza a rugalmasságot és a skálázhatóságot. A beépített alkalmazások, mint például az ArchiCAD EcoDesigner vagy az Autodesk Revit-Insight, lehetővé teszik az automatikus energiaelemzést, de részletes modellekre támaszkodnak. Az olyan parametrikus eszközök, mint a Rhinoceros-Grasshopper, rugalmas tervezési variációk létrehozását teszik lehetővé, de speciális tudást igényelnek. A mesterséges intelligencia által vezérelt eszközök, mint a CoveTool és a Digital Blue Foam, a gyors energiamodellezéshez mesterséges intelligencia-algoritmusokat használnak fel, de még fejlesztés alatt állnak, illetve elérhetőségük is korlátozott.

Ebben a kutatásban szeretnénk rávilágítani az energetikai elemzés fontosságára az épülettervezésben, valamint a számos elérhető innovatív módszerre, melyek hatékony eszközei lehetnek a jövő fenntartható építészeti tervezési gyakorlatának. A kutatásunk témája szorosan kapcsolódik az előző dolgozatainkhoz. Az első dolgozatunk a „VR (Virtual Reality) alkalmazása az építészetben” címet viselte, amelyben egy családi ház tervezésén keresztül tapasztaltuk meg az előnyeit és hátrányait a VR használatának, illetve elkezdtünk benne foglalkozni a benapozással és a térben való fényérzékeléssel. Erre a dolgozatunkra épült rá a „Parametrizált benapozásvizsgálat” című munkánk, ennek során a meglévő családi ház három helyiségét és azok bevilágítóit parametrizáltuk. A helyiségek funkciójához igazítottuk a benapozási időtartamot, a benapozottságot, illetve a szükségletekhez mérten javasoltunk árnyékolókat, ezzel megakadályozva a túlzott felmelegedést és a zavaró káprázást. Mivel az előző dolgozatunkban érintettük a jelenlegi munka témáját, de a kereteibe már nem fért bele a téma alapos körbejárása, ezért ennek a kutatásnak a keretein belül szeretnénk bemutatni különböző energetikai vizsgálati módszereket és szoftvereket, illetve azoknak az általunk tanácsolt felhasználási javaslatát.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	5
2. Kutatásmódszertan.....	6
3. Az épületek természetes megvilágítására vonatkozó előírások	6
4. Az épületek energetikai teljesítményére vonatkozó előírások.....	9
5. Alkalmazott módszerek	11
5.1 Dedikált szoftverek	11
5.2 Parametrikus tervezés.....	14
5.3 Mesterséges intelligencia	16
6. Saját munkarész.....	20
6.1 Célkitűzés.....	20
6.2 Vizsgált épületek.....	21
6.3 Dedikált szoftveres vizsgálatok.....	22
6.4 Parametrikus vizsgálatok	29
6.5 Mesterséges intelligenciás vizsgálatok.....	38
6.6 Összehasonlítás.....	46
7. Konklúzió.....	51
8. Irodalomjegyzék	54

Köszönetnyilvánítás

Köszönet illeti konzulensünket, Ajtayné Dr. Károlyfi Kittit a Széchenyi István Egyetem adjunktusát, aki ötleteivel, tapasztalatával segítette végig a munkánkat.

Köszönet illeti konzulensünket, Horváth Tamás PhD-t, a Széchenyi István Egyetem egyetemi docensét, aki az energetikai vizsgálat során nyújtott segítséget, meglátásaival, javaslataival segítette dolgozatunk elkészültét.

Köszönet illeti külső konzulensünket, Szalai Dórát, a Széchenyi István Egyetem doktoranduszát, a TSPC szoftverfejlesztési csoportvezetőjét és BIM-menedzserét, aki ötleteivel, tapasztalatával segítette végig a munkánkat.

Köszönet illeti Petrikó Lászlót, a Széchenyi István Egyetem mesteroktatóját, aki az energetikai vizsgálat során nyújtott segítséget, meglátásaival, javaslataival segítette dolgozatunk elkészültét.

1. Bevezetés

Az energetikai elemzési módszerek, köztük a generatív tervezés, a parametrikus modellezés és a mesterséges intelligencia példátlan lehetőségeket kínálnak az építésznek az energiateljesítmény átfogó értékelésére és optimalizálására az épület teljes életciklusa során. Az adatvezérelt meglátások és a legmodernebb technológiák erejét kihasználva az építész olyan környezettudatos szerkezeteket alakíthat ki, amelyek nemcsak az energiafogyasztást csökkentik, hanem a lakók kényelmét és jólétét is fokozzák. Az energetikai elemzési módszerek számos kifinomult technikát foglalnak magukban, amelyek lehetővé teszik az építész számára, hogy az épületek energiadinamikájának bonyolult részleteibe is belemerüljenek. Ilyenek például a hagyományosan túlmutató integrált energetikai vizsgálók (Revit Insight, ArchiCAD EcoDesigner), amelyek a programon belül képesek energetikai elemzéseket futtatni. Ez forradalmi volt, hiszen külső szoftver helyett a tervezőprogramban tudtunk vizsgálni, ezzel redukálva a komplexitást és befektetett időt. Ezek után a következő lépcső a parametrikus tervezés volt, nem is olyan rég a parametrikus programok képesek lettek energetikai elemzést is futtatni. A parametrikus tervezéssel alternatív verziókat generálhatunk és ezeket elemezhetjük az előbb említett beépített munkamódszer futtatási idejének töredéke alatt. Az MI (mesterséges intelligencia) a legújabb résztvevője az energetikai elemzések piacának. Ezek az algoritmusok már készen kerülnek a kezünk alá, gyorsan változtathatóvá teszik a modellt, illetve az elemzés is elképesztően gyors velük.

Dolgozatunkat a korábban említett „Parametrizált benapozásvizsgálat” ihlette, ahol egy megtervezett családi ház nyílászáróit parametrizáltuk, hogy minél előnyösebb benapozást érjünk el. Ekkor fogalmazódott meg bennünk a kérdés, hogy ez milyen mértékben befolyásolja az épület energiaigényét, energetikai teljesítményét, illetve, hogy a jövőbeli munkamódszerek miben és mennyire hasznosak számunkra. Az általunk vizsgált variációk közül kiválasztottuk a legelőnyösebb, illetve a legelőnytelenebb verziót, amik még megfelelnek benapozottság szempontjából. Mindkét verziót megvizsgáltuk az Auricon Energetic tanúsító szoftverben, és azt az eredményt kaptuk, hogy a legelőnyösebb verziónál a legelőnytelenebb közel 15%-val több energiát használ fel éves szinten. Az épület építészeti dokumentációja, illetve az energetikai tanúsítvány a mellékletben megtalálható. A vizsgálat során megtapasztaltuk, hogy egy tervezési

feladat során a különböző opciók összehasonlítása mennyire időigényes egy olyan szoftverben, ami nem tud modell adatokkal dolgozni. Ebből kiindulva kezdtünk el keresni olyan vizsgálati módszertanokat, amelyek lehetővé teszik a modell alapon történő vizsgálatot, a különböző verziók gyors és módszeres alakítását, generálását, illetve az energetikai jellemzők vizsgálatát. Dolgozatunkban ezeket a módszereket szeretnénk bemutatni vizsgálati példákon keresztül, majd több szempontból is értékelni az adott módszertanokat.

2. Kutatásmódszertan

Kutatásunkat megelőzte egy megjelenés alatt álló, a témát megalapozó cikk, amellyel a „Conference of Sustainability” (COS '23) konferencián vettünk részt. A cikk témája a jelenleg piacon található energetikai vizsgálati módszertanok lehetőségeinek áttekintése volt. A cikkben különböző szoftvereket, illetve az azokhoz tartozó módszertanokat térképeztük fel szisztematikus szakirodalmi áttekintések alapján. Mivel a cikk nem tartalmazott saját vizsgálatokat, így ebben a kutatásban szeretnénk több, általunk elvégzett vizsgálat alapján véleményt formálni.

Jelen kutatásban első lépésként ismertetjük azt az irodalomkutatást, amit a cikk elkészítéséhez is alkalmaztunk. Ezután kettő épületen keresztül mutatjuk be a módszertanokat, ezekből az épületekből kettő saját tervezésű, egyet pedig egy tantárgy keretein belül modellezzük meg. Az épületek úgy kerültek kiválasztásra, hogy léptékükben eltérőek legyenek, ezáltal is egy átfogóbb képet adva. Célunk volt az épületeken keresztül bemutatni a különböző vizsgálati módszereket, ezt követően kiértékelni az egyes vizsgálatokhoz szükséges tudás elsajátításának az időtartamát, a bemeneti adatokat, a vizsgálat időtartamát, illetve a vizsgálati eredményeket.

3. Az épületek természetes megvilágítására vonatkozó előírások

Az MSZ EN 17037 Természetes világítás az épületekben szabványt (*MAGYAR SZABVÁNY MSZ EN 17037, 2018*) 2019. július 1-jén tették közzé angol nyelven. Ezt a szabványt 2020. október 1-jén publikálták magyar nyelven is. Az európai (EN) és nemzeti (MSZ) hatályú szabvány használata önkéntes alapú. A szabvány közmegegyezéssel elfogadott műszaki dokumentum, amelynek révén általánosan elismert megoldás érhető el. Minden nyílászárókkal és bevilágítókkal (az épület külső térelhatároló felületén kialakított áttörés, mely transzparens felületű nyílászárót vagy szerkezetet tartalmaz, és amely a

természetes fényt beengedi) ellátott belső tér világításának jelentős részét a természetes fény biztosítja. A természetes fény közkedvelt a belső terek esetén, mivel a megfelelő mennyiség meglétével jelentősen csökkenthető a villamos energia felhasználása. A természetes fény jelentősen hozzájárul a belső terek megvilágításához, nagyon jó színvisszaadást biztosít, de évszakoktól és napszakoktól függően változik a mennyisége. A bevilágítók egyik fő feladata a kapcsolatteremtés a külvilággal, továbbá biztosítják a bent tartózkodók jó közérzetét. A nyílászárók és bevilágítók lehetővé teszik a napfény bejutását a belső terekbe, ez rendkívül fontos, viszont a kialakítás nagyban függ az adott tér funkciójától (tárolás, pihenés, olvasás stb.). A természetes fény hasznosításának lehetősége elsősorban az épület helyszínén rendelkezésre álló természetes fény mennyiségétől (azaz a helyszín földrajzi helyétől és éghajlatától) függ; másodsorban az épület közvetlen környezetének kialakításától, a bevilágítók beépítésétől, azok közvetlen környezetétől, szerkezeti kialakításától, továbbá a belső terek jellemzőitől függ.

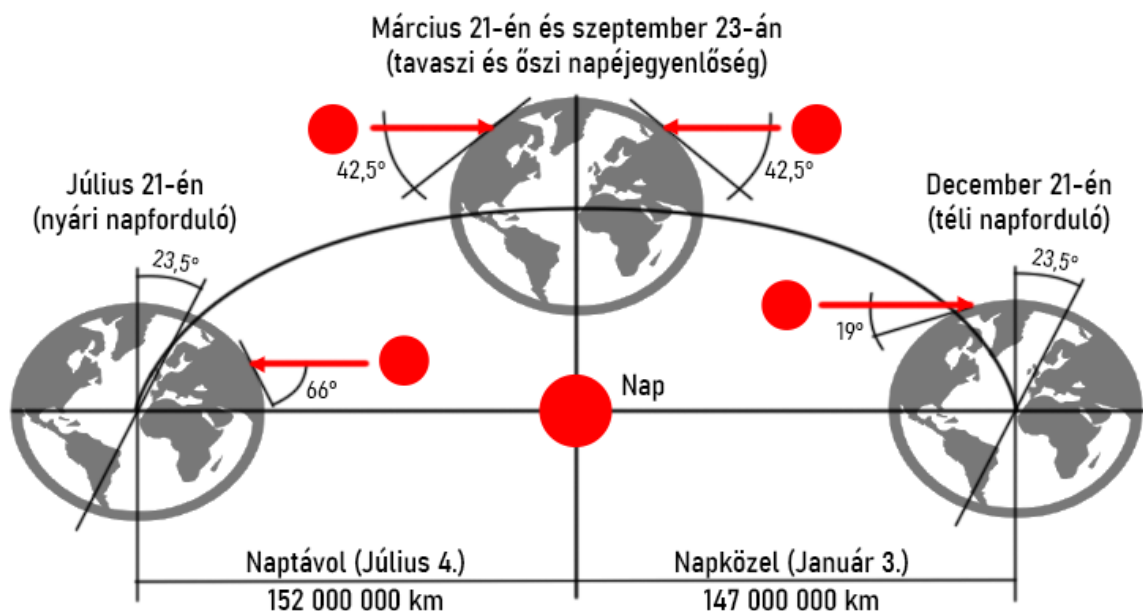
Benapozás

A benapozás a belső tér fontos minőségi kritériuma, ami hozzájárulhat a helyiség pozitív megítéléséhez és az ott tartózkodók jó közérzetéhez. Olyan helyiségekben, ahol huzamosabb tartózkodás van (iskola, óvoda, kórházi betegszoba, nappali, hálószoba), ott biztosítani kell a minimális időtartamú benapozást. Az OTÉK 86. §-a (OTÉK n.d.) (1) bekezdése írja le: „(1) A lakás legalább egy lakószobája napfény által benapozott legyen. Benapozottnak tekinthető az a helyiség, ahol a benapozás lehetősége február 15-én legalább 60 percen át biztosított.” Ezt az időtartamot azzal a minimális óraszámmal lehet meghatározni, mely alatt a vizsgált helyiségbe közvetlen napfény jut az év egy meghatározott tiszta, felhőtlen napján. A benapozás értékeléséhez meg kell vizsgálni a nap állását a vizsgált időpontban, továbbá ki kell számítani a várható megvilágítás időtartamát órákban. (MAGYAR SZABVÁNY MSZ EN 17037, 2018)

A napfény hasznosítása minden belső tér esetében függ a tér funkciójától. A napsugárzás időintervallumát figyelembe véve esetlegesen ki kell alakítani megfelelő árnyékolást, ami csökkenti a felmelegedést vagy vizuális kényelmetlenségeket. A napfény biztosításához figyelembe kell venni a tervezés folyamatában a tömegformálást, a tájolást, a homlokzati kialakítást, a helyiségek bevilágítóinak méretét és elhelyezkedését. A megfelelően megtervezett épületeknél a napsugárzási hőnyereség csökkentheti a téli időszakban a fűtési költségeket, a melegebb hónapokban figyelembe véve a napsugárzás magasabb beesési szögét, biztosítandó a

megfelelő árnyékolás. A mozgáskorlátozott személyek otthonaiban a bevilágítók tájolásakor figyelembe kell venni a benttartózkodási időszakokat és egy adott napszakban a napfényre vonatkozó preferenciákat. (MAGYAR SZABVÁNY MSZ EN 17037, 2018)

A benapozásvizsgálat legfontosabb része a nap mozgásának elemzése az adott földrajzi helyen. A benapozás vizsgálatokat érdemes a napfordulók (1. ábra) (csillagászati kifejezés, amivel a Napnak a Föld egyenlítőjéhez való szélső helyzetét fejezzük ki. A téli napfordulónál van a legrövidebb nappal és a nyári napfordulónál van a leghosszabb nappal az évben) és a nap-éj egyenlőség napjain megvizsgálni. A mi tervezési területünk az északi félgömbön található (ez azért fontos mivel az északi és a déli féltekén ellentétesen játszódnak le a folyamatok. Abban az esetben, ha az északi félgömb mérsékelt égövén figyeljük a nap mozgását láthatjuk, hogy a Nap legmagasabb delelési magassága június 21-én van, mivel ilyenkor a Nap-Föld középpontokat összekötő egyenes és az egyenlítő síkja által bezárt szög a legnagyobb értékét (kb. 23,5 fok) éri el a Nap északi félgömbön való elhelyezkedése mellett., Ekkor a leghosszabb a nappal és legrövidebb az éjszaka. Ezután a Nap egyre délebbre kel fel és egyre alacsonyabban delel, ezáltal a napi ív egyre rövidebb lesz és a napnyugta is egyre délebbre kerül. A következő jellegzetes napállás az őszi nap-éj egyenlőség vagy napforduló. Ilyenkor a Nap-Föld középpontokat összekötő egyenes és a földi egyenlítő síkja között bezárt szög elfogy, az egyenes a síkba illeszkedik.



1. ábra Föld keringése a nap körül (saját)

Szeptember 23-án (jellemzően 23, de a szökőévek befolyásolják) egyre rövidebb, a nappal és az éjszaka hossza megegyezik. A téli napforduló az a pillanat, amikor az előbbieken megemlített nyári napfordulónál a Nap-Föld középpontokat összekötő egyenes és az egyenlítő síkja által bezárt szög a legnagyobb értékét (kb. 23,5 fok) eléri a déli félgömbön, ilyenkor van a leghosszabb éjszaka és a legrövidebb nappal az északi félgömbön. Ezután minden nap kissé északabbra kel fel a Nap a látóhatáron és egyre magasabban delel, ezáltal a napi ív egyre hosszabb és a napnyugta is egyre északabbra kerül, ennek köszönhetően a nappalok a tavaszi nap-éj egyenlőség (március 20. körül) után már hosszabbak lesznek, mint az éjszakák és a nappalok hossza egészen a nyári napfordulóig folyamatosan nő. (Barlai Katalin, 2010)

Ezen a jellegzetes napokon érdemes lefuttatni a vizsgálatokat, mivel a két szélső időpont mellett az átmeneti időszakról is kaphatunk egy átfogó képet a nap-éj egyenlőségek megvizsgálásával. A tökéletes benapozás, amikor a téli időszakban maximalizáljuk a benapozás időtartamát, ezzel növelve a szoláris hőnyereséget. A tavaszi és őszi időszakban praktikus kontrollálni a beérkező fény mennyiségét, mivel ezekben az időszakokban a szoláris hőnyereséggel lecsökkenthetjük a fűtési időszak időintervallumát, de a kora őszi, illetve a késő tavaszi időszakban már felléphet a káprázás jelensége és romolhat a jó közérzet a helyiségben tartózkodás alatt. A nyári időszakban a benapozás elleni védelem élvez prioritást. A túlzott mennyiségű fény beengedése rontja a komfort érzetet, növeli a káprázás esélyét és a hűtési költségeket.

4. Az épületek energetikai teljesítményére vonatkozó előírások

Az épületenergetikai vizsgálatok alapvető lényege meghatározni az épületek teljesítményét. Ez a tudományág Magyarországon körülbelül 100 éves múltra tekint vissza. Kezdetben ökol szabályok és műszaki ajánlások jelentek meg a témával kapcsolatosan, majd a szabályok folyamatos szigorodásával alakultak ki számítási módszerek, illetve készültek energetikai vizsgálatok elvégzésére alkalmas szoftverek. A számítástechnika fejlődésének köszönhetően ezek a megoldások gyorsabbá, egyszerűbbé tették ezeknek a vizsgálatoknak az elvégzését. A jelenlegi globális helyzet miatt felmerült az igény, az épületek energetikai szempontból történő optimalizálására, ugyanis az energiaárak és ebből kifolyólag a fenntartási költségek jelentősen megemelkedtek. Ezen feltételek és igények hatására alakultak ki olyan vizsgálati módszerek,

amelyek modell alapján képesek vizsgálatot készíteni, parametrikusan változtatható elemekkel tudunk vizsgálatot készíteni, vagy esetleg a mesterséges intelligencia segítségével elemezzük az épületet energetikai szempontokból, mivel ezek a megoldások nagyban gyorsítják a folyamatot, illetve könnyebben hasonlíthatunk össze opciókat, ezzel elősegítve az optimális verzió kiválasztását.

Alapvetően az energetikára vonatkozóan területenként eltérőek lehetnek a követelmények és a számítási módszerek. Ennek egy fő oka az éghajlati tényezők eltérése a Föld egyes pontjain. Ebből kifolyólag léteznek irányelvek, amiket egységesen betartanak mindenhol, de a követelményszint, illetve a számítási módszertan országonként, Egyesült Államok esetében államonként is eltérő lehet. Mivel a rendeletek nem azonosak mindenhol, így a különböző programok által készített vizsgálatok között is lehet eltérés a számítási módszertanok eltéréseiből adódóan.

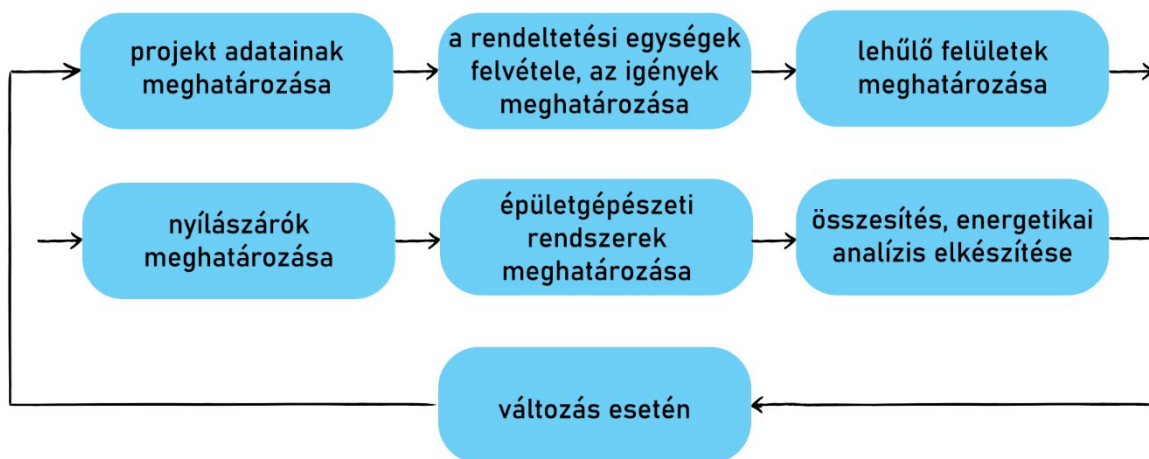
Magyarországon a már meglévő ingatlan bérbeadásához, eladásához, illetve egy új építésű ingatlan engedélyezéséhez is szükség van energetikai tanúsítványra, amennyiben az ingatlan 50 m²-nél nagyobb hasznos alapterületű. Az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról a 7/2006. (V.24.)/7/2006. (V.24.) TNM Rendelet, n.d.) TNM rendelet szól, az energetikai jellemzők meghatározásáról pedig a 176/2008. (VI.30.) Kormányrendelet szól. A rendeletek várhatóan 2023.11.01.-én módosulnak, viszont a kutatás során elkészített energetikai vizsgálatokat és tanúsítványokat még a 7/2006. (V.24.) TNM rendelet, illetve 176/2008. (VI.30.) Kormányrendelet(76/2008. (VI. 30.) Korm. Rendelet Az Épületek Energetikai Jellemzőinek Tanúsításáról, n.d.) alapján készítettük el. A szabványban meghatározásra kerül a határoló szerkezetek rétegrendi hőátbocsátási tényezője, a nyílászárók hőátbocsátási tényezője, az egyes gépészeti rendszerek értékei, valamint a vizsgálat során alkalmazandó számítás részletes leírása, illetve különböző tényezők is meghatározásra kerülnek. Továbbá meghatározásra kerülnek olyan értékek, amelyek alapján az épület követelményszintje meghatározható. Ezek az értékek például az épület összesített energetikai jellemzője, a határoló szerkezetek hőátbocsátási tényező követelményértékei, fajlagos hőveszteség tényező, nyári túlmelegedés kockázata, felhasznált minimális megújuló részaránya.

5. Alkalmazott módszerek

Ha energetikai vizsgálatról beszélünk, akkor a legtöbben azokra a szoftverekre gondolunk, amelyekkel manuális adatbevitellel készíthetünk energetikai tanúsítványokat, mint például az Auricon Energetic, vagy a WinWatt. Ezek a szoftverek már régóta jelen vannak az energetikai számítások mindennapjaiban. Ugyanakkor manapság, ha energetikai elemzést szeretnénk, akkor már nem csupán ezek a lehetőségek állnak rendelkezésünkre, ugyanis a technológia fejlődésével megjelenő tervező szoftverekbe épített elemző funkciók, a parametrikus tervezés és az MI is alkalmas lehet energetikai elemzések elvégzésére. A következőkben a teljesség igénye nélkül röviden bemutatjuk a különböző vizsgálati módszertanokat, majd a saját vizsgálatok elemzésénél részletezzük az általunk használt szoftverek lehetőségeit és korlátait.

5.1 Dedikált szoftverek

A dedikált szoftverek körébe a különálló, energetikai elemzésre szánt szoftvereket, illetve a különböző tervező szoftverekbe integrált energetikai vizsgálatok elvégzésére alkalmas eszközöket soroltuk.



2. ábra Dedikált vizsgálat folyamata (saját)

A különálló szoftverek alapvetően az ország/régió adott szabványai alapján számolnak. Ezekkel a programokkal van lehetőségünk a szabványos energetikai tanúsítványok létrehozására. A vizsgálathoz az épület adatait (elhelyezkedés, épülettípus stb.), geometriájára (lehűlő felületek mérete, tájolása), szerkezetére (réteges szerkezetek, nyílászárók), és gépészeti rendszerére vonatkozó információkat (fűtés-, hűtés-, melegvíz előállítás-, szellőztetés típusa, megújuló

energiaforrásokra vonatkozó adatok) szükséges a programnak megadni (2. ábra). Ezek alapján a program képes nekünk kiszámítani különböző energetikai jellemzőket, hőveszteségeket, hőnyereségeket számítani, valamint ezek alapján készíthetünk egy érvényes energetikai tanúsítványt. Hátrányuk, hogy jelenleg még nincsenek beépítve olyan funkciók, amelyekkel a szükséges információkat képesek lennénk egy BIM (Building Information Modeling) modellből kinyerni. A kutatás során az Auricon Energetic (*Auricon Energetic*, 2023) energetikai tanúsító szoftvert alkalmaztuk a vizsgálatokhoz, amely egy magyar fejlesztésű épületenergetikai szoftver. A program az energetikai számítás elvégzéséhez és a tanúsítvány elkészítéséhez a 7/2006 TNM rendeletet veszi alapul.

A különálló szoftverek a már meglévő épületek vizsgálatához nagy segítséget adnak, ugyanis nem szükséges a modell hozzá, így, ha az adatokat manuálisan adjuk meg a szoftvernek, azzal rengeteg munkaidőt tudunk megspórolni. Ugyanakkor, mivel az új épületek tervezése során szinte elengedhetetlen egy megfelelő részletezettségű modell, ezért az energetikai vizsgálatához adott egy modell. Ezeknek a szoftvereknek nagy hátránya, hogy nem tudnak modellből vett adatokkal dolgozni, így egy tervezési feladat során az energetikai vizsgálat több időt és energiát vesz igénybe. Továbbá a jelenlegi világhelyzetben törekednünk kell arra, hogy az épületeink energetikailag minél hatékonyabbak legyenek. Mivel a különálló szoftverek nem tudnak modellből kommunikálni, így az épületen történő változásokat is bonyolultabb, illetve időigényesebb, ami nagyban megnehezíti a különböző alternatívák vizsgálatát, ezáltal nem teszi lehetővé az energetikai optimalizálást.

A modellező szoftverekbe beépített energetikai elemző eszközök munkafolyamata nagyon hasonló a kifejezetten az energiaelemzésre szánt szoftverek munkafolyamatához, azzal az előnnyel, hogy az épületben bekövetkező változások automatikusan megjelennek az energiaelemzésben, mivel az eszköz a geometriára, illetve a szerkezetre vonatkozó adatokat az építészeti modellből származtatja. Manuálisan csak az épületgépészeti rendszereket és a földrajzi elhelyezkedést érintő változtatásokat kell elvégezni. Az, hogy a szükséges adatokat a modellből tudjuk kinyerni, nagyban könnyíti, illetve gyorsítja a munkát, főleg, ha különböző variációk összehasonlítása a célunk. Ugyanakkor, ha egy meglévő épület tanúsítása a célunk, amihez nem szükséges építészeti modellt készítenünk, akkor ez a módszer rengeteg plusz befektetett munkaidővel jár, ami nem térül meg.

Napjainkban a szimuláció az egyik legszélesebb körben alkalmazott módszer az épületek teljesítményértékelésére és elemzésére, mind a tervezési, mind a felújítási folyamatok során. A témán belül két CAD (Computer Aided Design) – BIM szoftver, a Graphisoft ArchiCAD (*Graphisoft ArchiCAD*, n.d.) és az Autodesk Revit (*Autodesk Revit*, n.d.) beépített energiaelemző eszközeit mutatjuk be. A Graphisoft ArchiCAD Energy Evaluation (korábbi nevén EcoDesigner) (*Energy Evaluation*, n.d.) a Graphisoft, a BIM-megoldások egyik vezető szállítója által kifejlesztett szoftvereszköz. Kifejezetten arra tervezték, hogy kibővítsé az ArchiCAD, a zászlóshajó BIM-szoftverük környezetvédelmi elemzési képességeit. Ez a beépített energiaértékelési eszköz közvetlenül a BIM-munkafolyamatba integrálja az energiaértékelési és szimulációs képességeket. Az ArchiCAD-ben végzett energiaértékeléshez a bemeneti adat az épületmodell, amely legalább a főbb többretegű szerkezeteket, nyílásokat és zónákat tartalmazza. Az eszköz lehetővé teszi a DIN 18599 (előzetes szabványsorozat, az épületek teljes energiamérlegének számítási módszere) szerinti üzemeltetési profilok sablonjainak használatát is (Tkeshelashvili, 2021). Az alkalmazott MEP (Mechanical Engineering and Plumbing, röviden épületgépészeti) rendszerek (azaz fűtés, hűtés, melegvíz-előállítás és szellőzés) hozzárendelhetők a hőblokkokhoz, és megadható az energiaforrás. Az utolsó lépés a környezeti beállítások, például a helyszín, a szélvédelem, a talajtípus és az éghajlati adatok meghatározása (Ali et. al., 2022). A kimenet egy jelentés, amely tartalmazza az épület óránkénti energiamérlegét, az éves energiafogyasztást, az energetikai teljesítményt és a karbonlábnyomot. Az eredmények öt különböző formátumban exportálhatók, többek között a Green Building XML (gbXML) formátumban, amely egy nyílt séma a több szoftveralkalmazásban megvalósított energiaelemző eszközök számára.

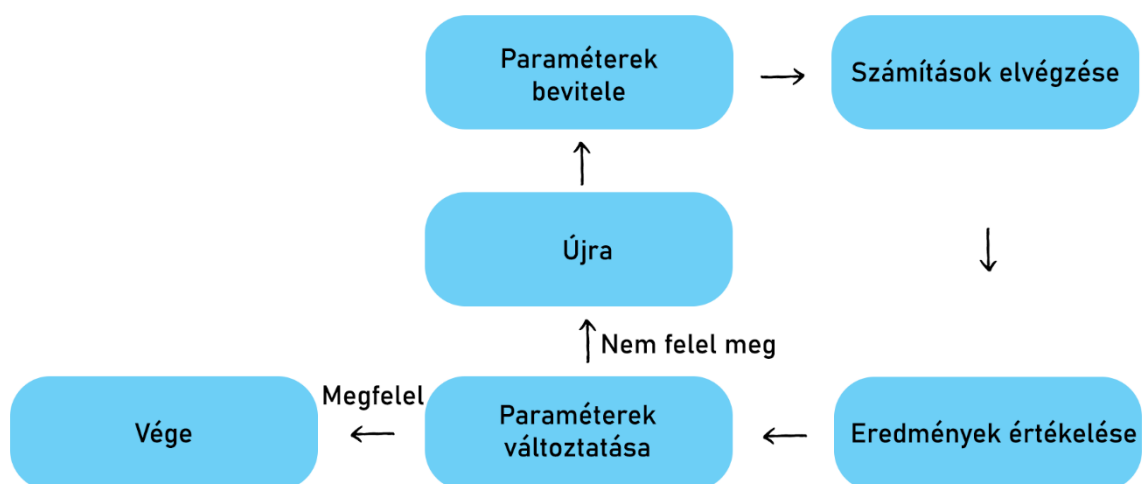
Az Autodesk Revit egy széles körben használt, BIM-képességekkel rendelkező tervezőszoftver. Számos funkciója mellett más Autodesk szoftverek és felhőszolgáltatások egészítik ki. Az Autodesk Revit segítségével lehetőség van energetikai auditok elvégzésére is. Ehhez a szoftverben nagy részletességű modell létrehozása, nyílások és többretegű szerkezetek meghatározása szükséges. Szükséges az épület földrajzi helyzetére és az épületgépészeti rendszerekre vonatkozó adatok megadása is. Miután minden szükséges adatot megadtak a szoftverben, az energetikai vizsgálatot a Revit-tel kompatibilis Autodesk Insight segítségével lehet elvégezni. Az Autodesk Insight részletes energetikai szimulációra, nappali fényelemzésre,

környezeti optimalizálásra és hőmérleg-számításra is használható. Ez egy felhőalapú eszköz, amely az Autodesk előfizetéssel rendelkező felhasználók számára elérhető.

5.2 Parametrikus tervezés

A parametrikus tervezés matematikai és logikai összefüggéseken alapul. Legáltalánosabban formatervezéshez, egyszerűbb szimulációk elkészítéséhez vagy egy építmény részterületének kialakításához szokták használni. A parametrikus tervezésben egy szabályrendszer vagy algoritmus alapján készíti el a program a kívánt elemet/geometriát. Napjainkban a tervezők egyre gyakrabban használják szimulációk elkészítéséhez, mint például megvilágítás vagy benapozás vizsgálathoz, de amikor a parametrikus tervezésről van szó, általánosságban az embereknek valamilyen összetett, organikus forma jut az eszébe. A parametrikus tervezésben számos lehetőség rejlik a formatervezésen kívül is (Árpád et al., 2022).

A parametrikus tervezés egyik legfőbb előnye, hogy a különböző építészeti változatok könnyen létrehozhatók. (Caetano et al., 2020) Ez a funkciója a kezdeti fázisban válhat a tervezők előnyére, mivel egy kis többletmunkát befektetve olyan modell hozható létre, amely könnyen adaptálható az egyszerűbb vizsgálatokra, mint például a közvetlen napsugárzás előre megírt scripteket lehet használni, ahol csupán néhány változót szükséges betáplálni (észak iránya, elhelyezkedés, környezet, dátum). Ezekkel a vizsgálatokkal számos tervezési hiba kiküszöbölhető a munkafolyamat elején, ezzel rengeteg felesleges költséget kerülhetünk el. A szándék az, hogy a



3. ábra Analitikus módszerrel történő optimalizálás (saját)

költségek csökkentése és ezzel párhuzamosan az épület teljesítményjellemzőinek javítása, optimalizálása érdekében a tervezési erőfeszítéseket korábbi szakaszokba helyezték át. Az építészetben az analitikus módszerekkel történő optimalizálás egy iteratív folyamat (3. ábra), amely négy általános lépésből áll: paraméterek bevitele, számítások elvégzése, eredmények értékelése, majd a paraméterek változtatása. A negyedik lépésben a kimenetet értékelik, hogy ellenőrizték, hogy az megfelel-e az elemzés céljainak. Érdekes rámutatni, hogy az optimalizálási feladatok általában az épület egy bizonyos értékére összpontosítanak, de ettől függetlenül az épülettel kapcsolatos minden más szempontnak és követelménynek (szerkezeti, funkcionális, esztétikai stb.) is meg kell felelni. Ha ezek teljesülnek, a folyamat véget ér, és a megoldás megvan. Ha nem, akkor a bemeneti paraméterek módosulnak, és a ciklus iteratív módon addig fut, amíg a célt el nem érjük. A paraméterek változtatása történhet manuális úton, de a parametrikus tervezés lehetővé teszi a folyamat automatizálását különböző beépített algoritmusok segítségével.

Jelenleg több parametrikus tervezőszoftver van forgalomban, de jelen esetben a Rhinoceros(*Rhino3D*, n.d.)-Grasshopper(*Grasshopper*, n.d.) szoftverpárosra koncentrálnak. A választott platform előnye, hogy számos olyan kiegészítő áll rendelkezésre, amely segíthet az energetikai tanulmányok futtatásában, mint például az Archsim Energy modelling(*Archsim*, n.d.). Ez az első olyan bővítmény, amely teljes EnergyPlus(*EnergyPlus*, n.d.)-szimulációkat tesz lehetővé Grasshopperben, és az EnergyPlus szimulációs motort egy nagy teljesítményű parametrikus tervezési és CAD-modellezési környezettel kombinálja. A ClimateStudio(*ClimateStudio*, n.d.) a leggyorsabb és legpontosabb környezeti teljesítményelemző szoftverként reklámozza magát az AEC (Architecture, Engineering and Construction) szektor számára. Szimulációs munkafolyamatai segítenek a tervezőknek és a tanácsadóknak optimalizálni az épületeket az energiahatékonyság, a napfényhez való hozzáférés, az elektromos világítás teljesítménye, a vizuális és termikus kényelem, valamint a lakók egészségének egyéb mérőszámai szempontjából. A ClimateStudio a Rhinoceros 3D bővítménye, és a 6-os vagy 7-es verzió legújabb szervizverzióját igényli. A modellezés és a tesztelés közvetlenül a Rhino-ban fut, lehetővé téve az adatok exportálását bármely Rhino-kompatibilis BIM-szoftverbe, illetve DDX (Device Data Exchange) vagy IFC (Industry Foundation Classes) formátumban történő mentését. Az Archsim lehetővé teszi a felhasználók számára, hogy egyszerűen hozzanak létre összetett, több zónás energiamodelleket, szimulálják

azokat és vizualizálják az eredményeket anélkül, hogy valaha is váltaniuk kellene az eszközök között. Az Archsim támogatja a fejlett napfény- és árnyékolásvezérlést, a szellőzési modulokat, például a szél- és a halmazott természetes szellőzést, a légáramlási hálózatokat, az egyszerű HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) -rendszereket, valamint a fotovoltaiikus elemek és a fázisváltó anyagok vizsgálatát is (Elbeltagi és Wefki, 2021).

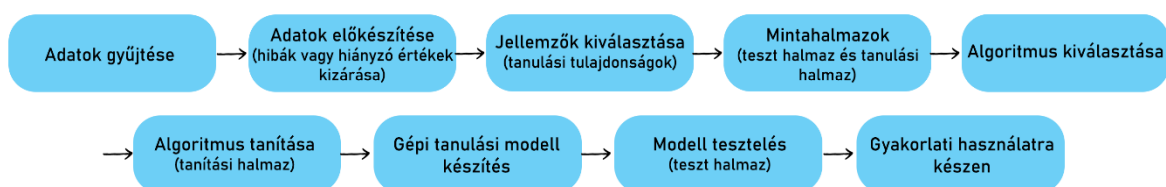
Számos más szoftveres megoldás is létezik a piacon, például a legelterjedtebb energetikai tesztelési kiegészítő a Ladybug tools (*Ladybug*, n.d.) (3. ábra), amely lehetővé teszi az időjárási adatok megjelenítését és elemzését a Grasshopperben. Ez magában foglalja az olyan diagramokat, mint a napút, szélrózsa, pszichrometrikus diagram stb., valamint a geometriai tanulmányokat, mint a sugárzáselemzés, árnyékvizsgálat és a nézetelemzés. A Honeybee a Grasshopper3D-t olyan validált szimulációs motorokkal kombinálja, mint az EnergyPlus/OpenStudio (épületenergiához, HVAC méretezéshez, termikus komforthoz stb.) és a Radiance (nappali fény és káprázás szimulációjához). A Dragonfly lehetővé teszi a nagyméretű EnergyPlus és Radiance modellek létrehozását és manipulálását az épületgeometria absztrahált 2D ábrázolásának kihasználásával, ahol minden helyiséget egy-egy padlólemez-szakasznak tételezünk fel. A Butterfly összekapcsolja a Grasshopper-t az OpenFOAM motorral, amely fejlett számítógépes áramlástani (CFD) szimulációk futtatására használható. E programok felhasználási lehetőségei rendkívül széleskörűek. Az energetikai vizsgálatokon kívül számos vizsgálati típus áll rendelkezésre, például klímaelemzés, fejlett természetes szellőzés vizsgálata, világításoptimalizálás vagy akár természetes légáramlás-elemzés. De ezeken a tesztípusokon belül is lehetőség van specifikusabb tesztek futtatására. A nappali fényelemzési tesztek esetében a szimuláció lefuttatható egy meghatározott ideig vagy egy meghatározott időintervallumon keresztül. A különböző tesztek esetében a vizsgálandó időintervallum természetesen eltérő lehet, így napi, havi vagy akár éves szimulációk is futtathatók. Ezek a vizsgálatok sokkal több számítási és tartalékkapacitást igényelnek a pontos számításokhoz, ami főként az utóbbi években vált elérhetővé (Roudsari & Pak, 2013).

5.3 Mesterséges intelligencia

Az ipari forradalom 4.0 a digitális kort átalakító technológiák, köztük a mesterséges intelligencia, a gépi tanulás, a dolgok internete (internet of things – IoT) és a neurális hálózati architektúrák

elterjedését hozza magával. Ezek a fejlesztések óriási ígéretet hordoznak az építészek számára, egyszerűsített munkafolyamatokat, hatékony időgazdálkodást és fokozott pontosságot ígérnek (Ghobakhloo, 2020). Az építészeknek meg kell ragadniuk ezeket a lehetőségeket, és a technológiai fejlesztésekkel összhangban kell maradniuk, hogy kihasználhassák a bennük rejlő potenciális előnyöket. Ahogy ezek a technológiák egyre inkább elterjednek, úgy fejlődnek, hogy az emberi intelligenciához hasonlóan dolgozzák fel az adatokat, egyre pontosabb megoldásokat kínálva. Bár a mesterséges intelligencia megoldások az építészetben még gyerekcipőben járnak (Cheng & Hey, 2022), máris mélyreható iparági átalakulásokat indítottak el (Farzaneh et al., 2021).

A mesterséges intelligencia, mint fogalom már nagyon régóta jelen van (először Marvin Minsky és John McCarthy írta le a New Hampshire-i Dartmouth College-ban), de a modern világban kezdett relevánssá válni. A technológiai működését tekintve alapvetően az MI a természetes intelligencia



4. ábra Mesterséges intelligencia tanulási algoritmus létrehozása (saját)

szimulációja, amely szimulációt számítógépesen tudjuk feldolgozni. Ezen szimulációk képesek hatalmas mennyiségű adatot kezelni és a komplex, sőt az egymásra épülő algoritmusokkal is megbirkóznak. A legfontosabb ismérve viszont az, hogy képes az öntanulásra. Az öntanulás hasonlóan az adaptálást segíti, mint a parametrikus tervezésnél, viszont itt nincs szükségünk semmilyen manuális beavatkozásra, ugyanis ilyenkor az algoritmus saját magát írja felül újra és újra, a bemenő adatok és megoldandó problémák alapján, hogy azokra a lehető legjobb megoldást adja. A technológiának több ágazata is van, amelyeket a legbonyolultabb problémák felderítésére és kezelésére alkalmaznak, ezek a machine learning (Gépi tanulás) és a deep learning (Mélyreható tanulás) (Cheng & Hey, 2023). A machine learning is egy tanuló algoritmus. A lényege, hogy az algoritmus tanulásának kezdetekor egy megadott mennyiségű adatot táplálnak be, amelyek kizárólagos kritériumként szolgálnak a program számára. A további használat során pedig a program ezekhez az adatokhoz viszonyít és persze felülírja magát, hogy egyre hatékonyabb legyen a számítása (Belém et al., 2019). A deep learning egyfajta machine learning hálózat, ami már

félúton van a neurális hálózatokhoz. A deep learning vagy mély tanulás ugyanúgy adatokat használ a tanuláshoz, de ezeket az adatokat rétegeken keresztül dolgozza fel és minél több a réteg annál szofisztikáltabban képes mintákat felismerni a bemenő adatokon keresztül és értelemszerűen annál komplexebb és pontosabb megoldást kínál a problémákra. Ez a fajta hálózat rendkívül gyorsan képes tanulni tekintve a számos kapcsolatot, amit generál a rétegeken keresztül. Természetesen, ha nem megfelelő a kimenet, akkor a visszajelzésünkkel az algoritmus önmagát fejleszti (As et al., 2018).

Egy épület tervezésének alapvetően 3 fő pillére van, a tervezés, a dokumentáció és üzemeltetés. Ezekben a fázisokban természetesen több lépésre oszlik a feladat, de ezeket a lépéseket nagy szinten át tudja hatni már a mesterséges intelligencia. A kezdeti fázisokban különböző elemző algoritmusokat használhatunk és generatív tervezést különböző modellváltozatok gyors generálásához. A második fázisban a dokumentációnál, azaz a tervek feldolgozásánál is sok szerepet tölthet be az MI. Ebben a fázisban szintén használhatóak generatív algoritmusok, amik alaprajzokon különböző berendezési sémákat tudnak létrehozni gyorsabban és több verzióban, mint egy tervező. Amiben még segíteni tudnak, az a tervek publikációjának automatizálása, a költségbecslés, a munkafolyamatok szervezése, tehát rendkívül széles spektrumot tudnak támogatni. A harmadik fázis az üzemeltetés, ez talán a legfontosabb fázisa egy épületnek, hiszen itt az utóéletéről való gondoskodás folyik. Ebben a fázisban a mesterséges intelligenciát használhatjuk monitorozásra, különböző rendszerek optimális irányítására vagy akár használhatjuk a teljes épület automata irányítására is. Ebben a fázisban is rendkívül széles problématarományra nyújtanak megoldást az MI eszközök. (VIKRAMADITYA, 2023)

A mesterséges intelligencia különböző technológiáinak és relevanciáinak ismertetése után a módszertan építészetileg definiált munkafolyamatát is ismertetnénk egy adott szoftveren tapasztaltak alapján egy későbbi fejezetben, ami a Cove.tool nevezetű webes elemző és optimalizáló platform. Ebben a fejezetben viszont néhány olyan webalapú eszközt mutatunk be, amelyek elsősorban a mesterséges intelligenciára támaszkodnak, és többnyire energetikai elemzésekre hasznosíthatók.

Elsőként a Google alvállalatoként működő Sidewalk Labs-ot említjük, ami az intelligens városok számára gépi tanulással működtetett generatív algoritmusok fejlesztésére specializálódott. Egyik

programjuk a Delve (*Sidewalk Labs*, n.d.), melynek célja, hogy többféle optimális megoldást kínáljon a különböző várostervezési feladatokra, figyelembe véve a város sajátosságait. Az algoritmus olyan tényezőket vesz figyelembe, mint az övezeti előírások és a projekt paraméterei, hogy a legmegfelelőbb javaslatot nyújtsa egy olyan fejlesztéshez, amely egyszerre biztosítja a magas életminőséget és a gazdasági életképességet.

Egy másik említésre méltó szoftver a Spacemaker MI (*Spacemaker*, n.d.), (amelyet elsősorban az épületek városi környezetben való elhelyezésének segítésére terveztek. Bár a Cove.Toolhoz képest kevesebb lehetőséget kínál, ez a mesterséges intelligencia kifejezetten a napfénynek való kitettség optimalizálására összpontosít mind a városi területek, mind az épületek homlokzatai esetében. Emellett méri az épületek közötti szellőzést, ami a modern városok egyik jelentős kihívását kezeli. A szoftver tartalmaz egy olyan funkciót is, amely az épületek elhelyezésére tesz javaslatot, és épületformákat generál, hogy segítse a döntéshozatalt a korai szakaszban. Az Autodesk megvásárolta ezt a szoftvert, és beépítette egy kiterjedt, többfunkciós programba, az Autodesk Forma programba, elősegítve annak további fejlődését.

Az Autodesk Forma (*Forma-Sustainability*, n.d.) a Cove.Tool fő riválisának tekinthető. Algoritmusai a Cove.Toolhoz hasonlóan képesek különböző elemzések elvégzésére, de van egy olyan figyelemre méltó előnye, amely potenciálisan jobbá teszi ezt a programot: folyamatos, valós idejű kommunikációt tud kialakítani a tervezőszoftverekkel. A 3D környezet kialakítása után a program képes folyamatosan figyelemmel kísérni a tervezett épületet és annak körülményeit, a napfénytől kezdve a költségoptimalizáláson át a külső nézetek és a belső perspektívák modellezéséig. A program jelentős hátránya azonban a jelenlegi magas költsége, de a döntéshozatali folyamatok potenciális megkönnyítését figyelembe véve ez a szempont talán indokolható.

Egy másik szoftver, amelyet röviden bemutatunk, a Digital Blue Foam (*Digital Blue Foam*, n.d.). Ez a mesterséges intelligencia viszonylag fejlett, és egy érdekes képességgel rendelkezik – képes élő kapcsolatot létesíteni az ArchiCAD, a Revit és a Grasshopper programokkal. Ez a széles körű átjárhatóság jelentős potenciált sejtet az interdiszciplináris alkalmazások számára, kihasználva az egyes szoftverek pozitív tulajdonságait. A program hasonlóságokat mutat a Sidewalk Labs által kifejlesztett Delve-vel, és szintén jól alkalmazható a városfejlesztésben, és gyorsan fejlődik az

épületek energetikai szempontú elemzésének vonatkozásában is. Véleményünk szerint hatalmas lehetőségeket rejt magában, és érdemes szorosan nyomon követni a fejlődését.

Az utolsó ilyen szoftveralkalmazás a Cove.Tool (Tkeshelashvili, 2021), amely egy többfunkciós, széleskörű képességekkel rendelkező webalapú platform. A program alapvetően egyszerűen és logikusan felépített. A tervezett épületünk elemzésére szolgál, főként és leginkább koncepcionális és vázlattervi fázisban alkalmazható. Élőkapcsolatot képes létesíteni a piacon lévő legtöbb 3D modellező szoftverrel, így képes 3D modell alapon elemzéseket végezni. A programba épített elemző és beállító fülek fokozatosan vezetnek minket egy munkafolyamaton, amin végig haladva optimális eredményt érhetünk el. A szoftver dedikáltan épületteljesítmény elemzésre szolgál és a program munkafolyamatai rendkívül széles spektrumú elemzéstípust lefed.

6. Saját munkarész

6.1 Célkitűzés

Előző kutatásunk során a családi házon parametrizáltuk a nyílászárókat és azokon a variációkon futtatunk le benapozásvizsgálatokat (Árpád et al., 2022). Vizsgálataink eredményeként megállapítottuk, hogy egy épület nyílászáróinak elrendezése, méretei jelentősen befolyásolják a helyiségek benapozását, ezáltal az épület energetikai jellemzőit is. Jelen kutatásunk során kettő épülettel foglalkoztunk, egy általunk tervezett családi házzal és egy általunk tervezett inkubátorházzal. Azért választottuk ezt a két épületet, hogy minél szélesebb spektrumot fedjünk le a vizsgálatok kapcsán, legyen egy kis léptékű, egy nagyobb léptékű, amin keresztül tesztelhetőek a munkamódszerek korlátjai. Kutatásunk célja az eddigiekben bemutatott három módszertan lehetőségeinek felmérése. Legfőképpen szerettük volna megvizsgálni mindhárom munkamódszer használhatóságát, a futtatott vizsgálatok eredményeit összevetni, majd kiértékelni azok pontosságát, vagy esetlegesen az eltérések mértékét. Az eredmények és a felhasználhatóság után szeretnénk felállítani szempontrendszert a három munkamódszer alkalmazhatóságáról, használhatóságáról és befektetett munka és idő viszonyáról.

6.2 Vizsgált épületek

Bakonybéli családi ház

A „VR alkalmazása az építészetben” című kutatásunk során terveztünk egy családi házat Bakonybélien. Mivel a VR használatát szerettük volna prezentálni ezzel az épülettel, ezért prioritást élvezett a végső látvány kialakítása. Az épületet úgy terveztük meg, hogy tudjon illeszkedni az oldalhatáron álló beépítésű területen, viszont merőben eltérjen a szokásos hosszházas elrendezéstől és kiszolgálja a jelenlegi lakhatási igényeket. Továbbá rendkívül fontos volt számunkra a megfelelő mennyiségű fény beengedése, ezért számos nyílászáró variációt hoztunk létre. Ennek köszönhetően több mint 200 benapozásvizsgálatot futtattunk le. Ezek kiértékelése után választottuk ki a legoptimálisabb nyílászárókat, ezzel kialakítva a végleges megjelenését az épületnek.



5. ábra Bakonybéli családi ház (saját)

Inkubátorház

Az épületet Hegedűs Dániel László tervezte az építészeti tervezés 4 tantárgy keretein belül. Második vizsgálati épületnek azért választottuk az alábbi épületet, mivel az érdekes koncepció mellett egy egyedi parametrikusan tervezett homlokzat tarkítja az épületet, ami az általunk

vizsgált benapozás mértékét nagyban befolyásolja- Az építészeti koncepciója az épületnek, hogy dinamikusán változtatható tereket hozzon létre a tervező. Ennek köszönhetően többségében nagy alapterületű nyitott légterű irodák kaptak helyet az épületben. A tervezés folyamán a tervező figyelembe vette a környezeti adottságokat és a tájolást, ezzel próbálta komfortossá tenni az épületben elhelyezett irodákat. Az épületet körülvevő homlokzati panel perforációjának sűrűsége minden oldalon eltérő figyelembe véve a homlokzat tájolását.

Az inkubátorházak lényege, hogy teret adjanak kezdő vállalkozásoknak, illetve start-up cégeknek. Ezentúl lényeges elem még egy olyan támogatási rendszer, amely segíti a kezdő vállalkozókat a vállalkozás elindításához és felfuttatásához szükséges szolgáltatásokkal (tanácsadás, mentorálás, oktatás, képzés, hálózatépítés stb....).



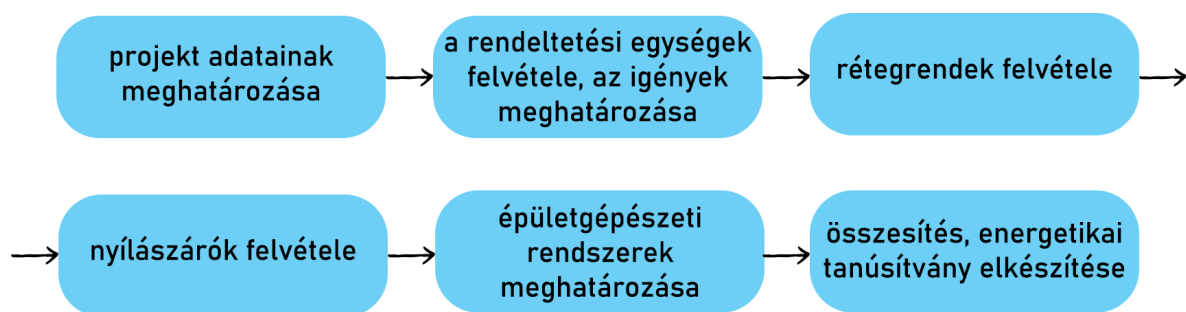
6. ábra Inkubátorház látványterv (saját)

6.3 Dedikált szoftveres vizsgálatok

A különálló szoftverek tekintetében az Auricon Energetic szoftvert alkalmaztuk, integrált módszerek tekintetében pedig a Graphisoft ArchiCAD Energy Evaluation energetikai elemzőjét használtuk.

Az Auricon Energetic-ben az adatokat teljesen manuálisan kellett megadnunk, a felépített építészeti modellnek nem tudtuk hasznát venni. Ezáltal a vizsgálat viszonylag hosszú ideig tartott, illetve még egy olyan nehézségbe is ütköztünk, hogy az épület komplexségéből adódóan meghaladtuk a program kapacitását, ezért több összeomlással is találkoztunk a vizsgálat során. Ugyanakkor mivel ez a program megbízható energetikai tanúsítványt készít a vizsgálat végén, ezért a továbbiakban a különböző módszertanok összehasonlításának ez adta az alapját.

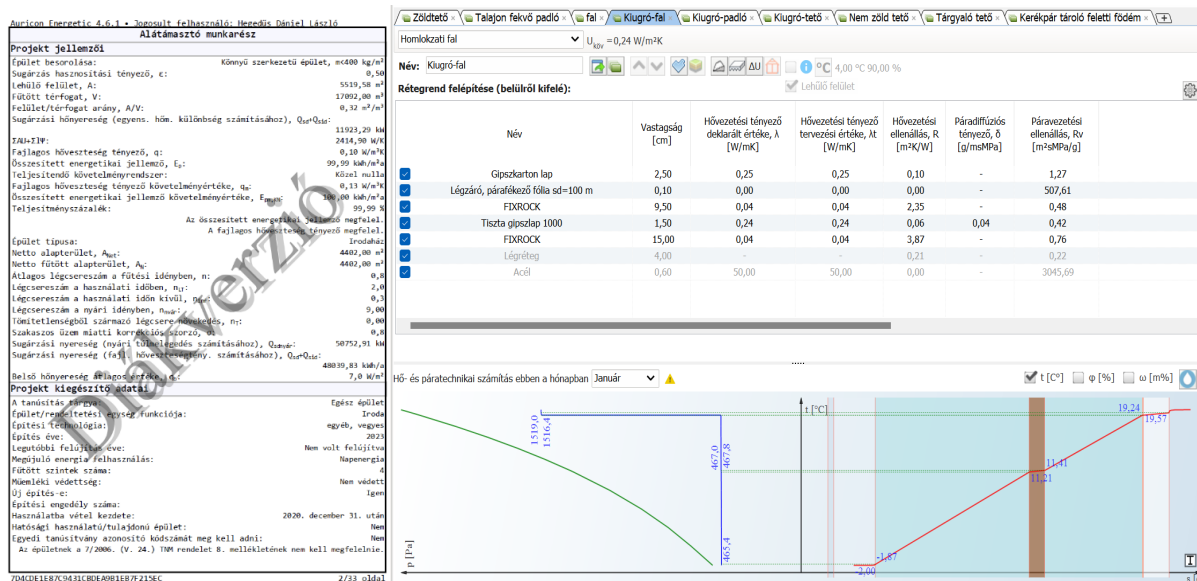
Munkafolyamat az Auricon Energetic-ben



7. ábra Auricon Energetic folyamatára (saját)

Az Auriconban végzett energetikai vizsgálat munkafolyamata (7. Ábra) az épület földrajzi adatainak, rendeltetésének, a tanúsítás típusának, illetve az épület szerkezetének a megadásával kezdődik. Ezután meg kell határoznunk a rendeltetési egységeket, melyekhez be kell állítanunk, hogy melyik milyen gépészeti rendszerekkel rendelkezik. Itt meg tudjuk adni, hogy hány fokra kell fűteni, illetve hűteni, van-e használati melegvíz ellátás, illetve, hogy van-e mesterséges szellőztetés, valamint beállíthatjuk, hogy a tanúsítvány során szeretnénk-e figyelembe venni a világítást (Magyarországon a jelenleg hatályos energetikai rendeletek alapján a lakóépületeknél nem kell figyelembe venni). A rendeltetési egységek meghatározása után az épület fűtött területét határoló összes rétegrendet fel kell vennünk, amiben a program anyagadatbázisa van a segítségünkre. Itt meg tudjuk határozni azt is, ha változó vastagságú rétegrendről van szó (pl.: lapostető rétegrend), ha inhomogén a rétegrend, meg tudjuk adni, hogy hol található más anyag (pl. magastető rétegrend), illetve korrekciós tényezőket is beállíthatunk (pl.: homlokzati hőszigetelés dűbelezése). Továbbá minden egyes rétegrendhez hozzá tudjuk rendelni a fűtött teret határoló felületét, alaprajzi szögét, illetve dőlésszögét. A rétegrendek után a következő lépés a

nyílászárók meghatározása. Itt lehetőségünk van egy rétegrendbe illeszteni a nyílászárót (ablak/ajtó), vagy pedig helyiséghez rendelni (függönyfal). A nyílászáróknak meg kell határozni a tok típusát, a távtartók típusát, az üvegezés rétegszámait, illetve bevonatait, valamint, ha van árnyékoló szerkezet, azt is itt tudjuk megadni. Ennél a pontnál van lehetőségünk eldönteni, hogy szeretnénk-e benapozásvizsgálatot futtatni a nyílászárókra, amennyiben igen, úgy meg kell adnunk azokat a tagozatokat, tereptárgyakat, amik befolyásolhatják a benapozottságot. Ezután meg kell határozni az épület lehetséges hőhidjait. Erre több számítási módszer is van, mi a kutatás során az egyszerűsített módszert alkalmaztuk, ugyanis a jelenleg hatályos rendeletek szerint a „közel nulla” követelményszintre való tanúsításhoz elegendő az egyszerű módszer alkalmazása. A következő lépés a nyári túlmelegedés kockázatának meghatározása. Ezt a program az alapján határozza meg, hogy hány homlokzaton van lehetőség nyílászáró nyitásra, illetve, hogy lehetséges-e az éjszakai szellőztetés, ezenfelül lehetőségünk van saját értéket megadni. A vizsgálat utolsó fázisa az épületgépészeti rendszerek meghatározása. Lehetőségünk van megadni fűtés esetén a hőtermelő és a hőleadó típusát, a használati melegvíz termelésének módját, a szellőztetőrendszer tulajdonságait, a hűtéstechnika típusát, illetve a világítás teljesítményét. Továbbá itt tudjuk beállítani a megújuló energiaforrásokat is. Van lehetőségünk napelemet, napkollektort, illetve saját rendszert is megadni. Ezek után a lépések után a program készít nekünk egy összesítőt, ahol láthatjuk, ha valamit hibásan, vagy egyáltalán nem töltöttünk ki. Ezután egy felületen láthatjuk az összesített energetikai jellemzőt, az épület teljesítményét, a megújuló energia részarányát, az épület besorolását, hőveszteségeit, illetve a különböző fogyasztásait. Ha mindent megfelelőnek találunk itt, és a program sem írt hibaüzenetet, akkor elkészíthető a rendeleteknek megfelelő energetikai tanúsítvány. (Auricon Energetic 2023)



8. ábra Auricon energetikai tanúsítvány (saját)

98. ábra Auricon kezelőfelület (saját)

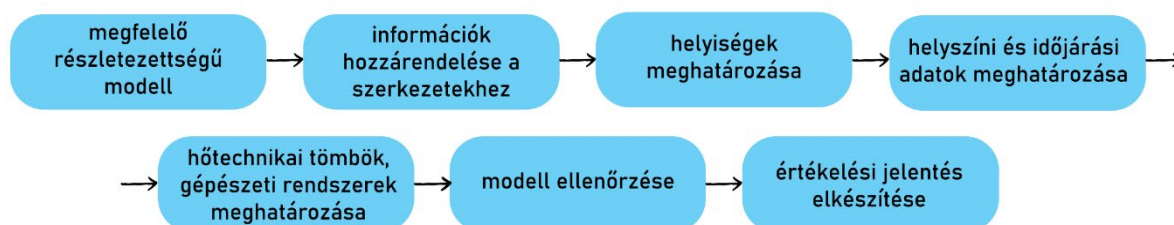
A vizsgálat során felmerült nehézségek

A vizsgálat során a program egyik előnye jelentette számunkra a hátrányát is. Az Auriconban szinte minden esetben egy adott adatbázisból tudunk választani építőanyagot, üvegezést, bevonatot, és egyéb jellemzőket. Ez nagyban meg tudja könnyíteni a munkát, mivel például egy réteges szerkezet esetében nem kell minden anyag tulajdonságait egyesével, manuálisan meghatároznunk. Ugyanakkor ez nehezebbé teszi azt az esetet, ha valamilyen egyedi megoldást alkalmaztunk az épületben. A mi esetünkben ez a probléma főként az árnyékoló szerkezetnél mutatkozott meg, mivel egy teljesen egyedi perforált szerkezetünk volt. Erre a problémára volt az a megoldásunk, hogy meghatároztuk a perforáltság mértékét, amiből meg tudtuk határozni az árnyékolási tényezőjét, majd a szoftver adatbázisában található külső, közbenső, illetve belső árnyékolókat kezdtük el úgy kombinálni, hogy az eredeti árnyékolási tényezőkhöz közeli értékeket kapjunk. Véleményünk szerint az egyedi megoldások meghatározásának lehetősége egy nagy hiánya a programnak, mivel jelenleg a tervezők előszeretettel terveznek egyedi megoldásokat, akár parametrikus módszerrel is.

ArchiCAD Energy Evaluation

Az ArchiCAD Energy Evaluation az ArchiCAD tervezőszoftverbe integrált energetikai elemző szoftver, ami az ANSI/ASHRAE Standard 140-2007 szabvány alapján működik. Segítségével lehetőségünk van az ArchiCAD-ben megépített kellő részletességű és megfelelő információkkal felruházott modellt energetikai szempontból vizsgálni. A programmal képesek vagyunk különböző grafikonok készítésére az energetikai teljesítményre vonatkozó adatokkal, illetve egy értékelési jelentést is kinyerhetünk PDF formátumban, viszont ez nem egyenértékű egy energetikai tanúsítvánnyal.

Munkafolyamat az Energy Evaluationben



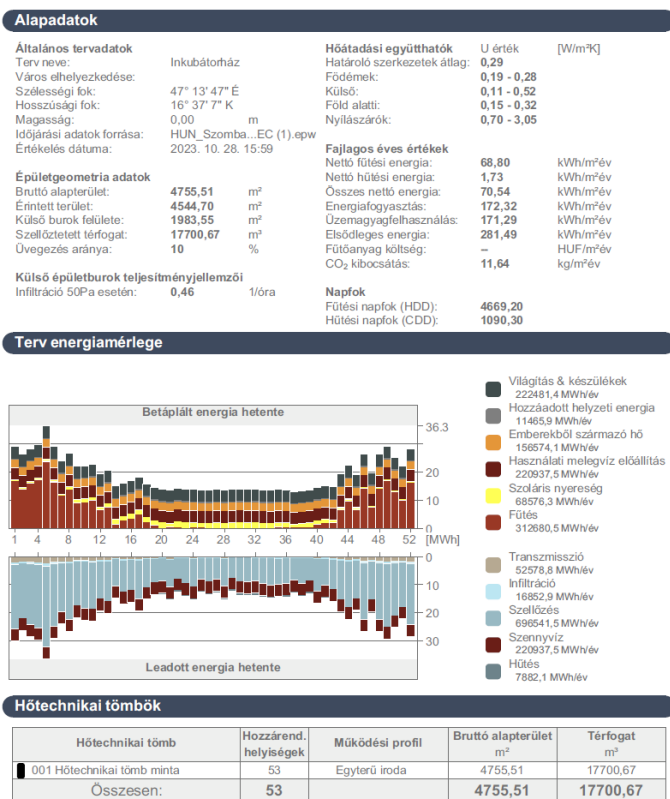
109. ábra ArchiCAD Energy Evaluation folyamatára (saját)

Ahhoz, hogy energetikai elemzést tudjunk készíteni ArchiCAD-ben, először egy megfelelő részletességű építészeti modellt kell készítenünk. Ennek a modellnek tartalmaznia kell az összes határoló falat, födémeket, tetőt, megfelelő réteges szerkezetként, illetve a határoló nyílászárókat. Ezen elemek grafikus megjelenítésén túl a megfelelő információkkal (pl.: hőátbocsátási tényező). Továbbá a vizsgálathoz szükséges hőtechnikai tömböket létrehozunk, amit a legegyszerűbb módon úgy tudunk megtenni, ha az ArchiCAD helyiség funkciójával meghatározzuk a helyiségeket alapterületükkel és belmagasságukkal, majd ezeket a helyiségeket már hozzá tudjuk rendelni a hőtechnikai tömbökhöz (10. ábra). Miután meghatároztuk az épület geometriáját és a határoló szerkezetek jellemzőit a tervbe be kell vinnünk a helyszínre és az időjárásra vonatkozó adatokat. A helyszíni adatokat manuálisan tudjuk megadni a szoftvernek, az időjárásra vonatkozó adatokat pedig internetes adatbázisokból tudjuk beilleszteni. Ezután el tudjuk indítani az energetikai modell vizsgálatát, ahol ellenőrizni tudjuk, hogy melyik helyiség melyik hőtechnikai tömbhöz van rendelve. továbbá meg tudjuk határozni a gépészeti rendszereket. Következő lépésként ellenőrizni tudjuk a réteges szerkezetek, illetve a nyílászárók hőátbocsátási tényezőit. Ezután az energetikai modellt tudjuk kimenteni több fájlformátumban (gbXML, PHPP, VIP-Energy), illetve lehetőségünk

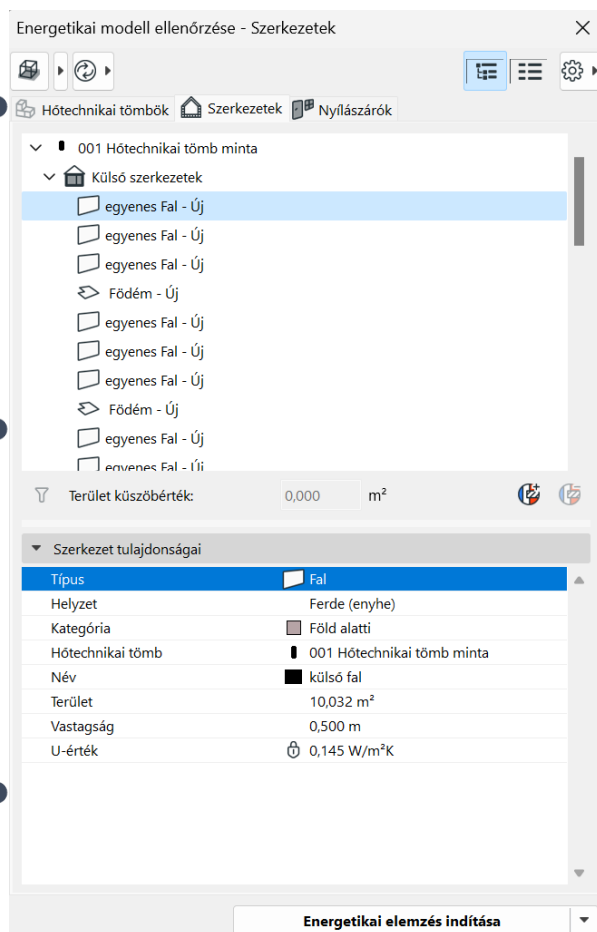
van elkészíteni egy energetikai elemzést, amit PDF, illetve XLS formátumban tudunk exportálni. (Energy Evaluation, n.d.)

Energiahatékonysági elemzés

[Terv száma] [Terv neve]



1110. ábra Energy Evaluation energetikai jelentés (saját)



1211. ábra Energy Evaluation kezelőfelület (saját)

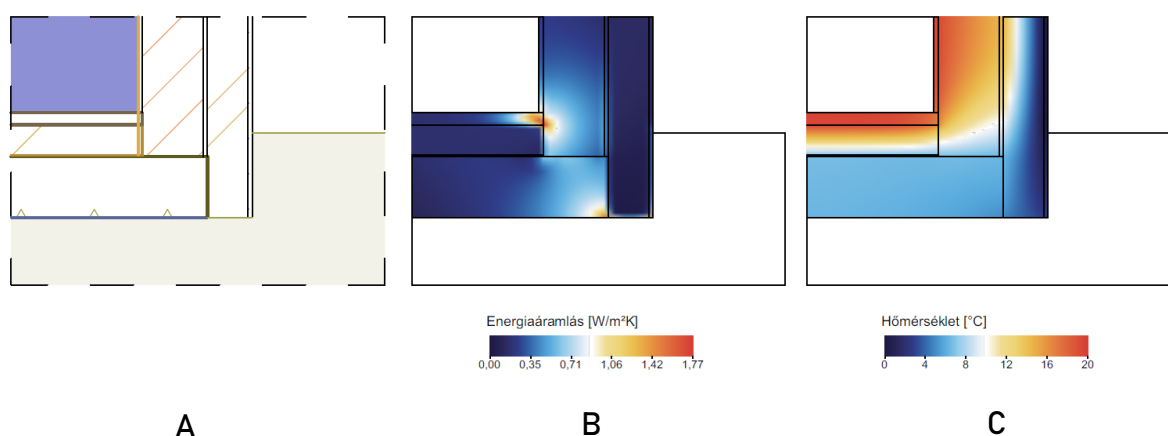
A vizsgálat során felmerült nehézségek

Alapvetően a vizsgálat során két jelentős problémával találkoztunk. Az első problémát a program előnye adja, mivel minden adatot az építészeti modellünkből vesz át, ami nagyban megkönnyíti és felgyorsítja a vizsgálatot. Ugyanakkor a program meghatározza nekünk a külső határoló szerkezeteket, amik nem mindig pontosak, néha belső válaszfalakat is ebbe a csoportba sorol. A szerkezetek helyzetének megadására van lehetőségünk manuális módon, viszont ez időigényes, és a program nem mindig érzékeli megfelelően a változásokat (hiába állítunk át egy külsőnek vett belső szerkezetet belsőre manuális módon, attól az az energetikai modellben ugyanúgy külső

szerkezet marad). Ugyanakkor a modellből átvett építőanyagok, illetve nyílászáróinak a módosítására van lehetőségünk az energetikai vizsgálat során. A másik jelentős problémája a szoftvernek az az, hogy nem magyar szabványok alapján dolgozik, ezáltal az eredmények valamelyest eltérhetnek az Auriconban végzett számításoktól, valamint ebből kifolyólag nem alkalmas energetikai tanúsítvány elkészítésére. Ezek alapján azt mondhatjuk, hogy ez a megoldás főként különböző variációk összehasonlítására alkalmas.

Hőhíd vizsgálat az Energy Evaluationben

Az ArchiCAD-ben az energetikai elemzés mellett még található a témához szorosan kapcsolódó funkció, ami a csomópontok hőhíd elemzése. Erre akkor van lehetőségünk, ha egy részletrajz eszközzel felvett csomópontot szeretnénk hőhidasság szempontjából megvizsgálni. Először a felvett csomópont kitöltéseit kell anyag híven ábrázolni, illetve szükséges a külső-, a belső levegőt, illetve esetlegesen a talajt egy külön kitöltéssel jelölni. Ezután el tudjuk indítani a hőhídelemzést, ahol a külső és belső tereket hozzá kell rendelni a korábban megadott kitöltésekhez, majd van lehetőségünk ellenőrizni az alkalmazott építőanyagok hőátbocsátási tényezőit. Miután elvégeztük ezeket a műveleteket lefuttathatjuk a hőhídelemzést, amiből kaphatunk egy energiaáramlást mutató 13/A ábrát, illetve egy hőmérséklet eloszlást mutató 13/C ábrát.



1312. ábra Energy Evaluation hőhídelemzés (saját)

6.4 Parametrikus vizsgálatok

A parametrikus vizsgálatokhoz a modellt csupán egyszer hoztuk létre Grasshopperben a Ladybug plug-in segítségével, mivel ezek olyan vizsgálatok, amelyeknek elegendő a bemenő adatait megváltoztatni és azzal aktualizálni lehet az eredményeket. Ezeket a vizsgálatokat a mellékletben az inkubátorházhoz csatoltuk be.

Időjárás elemző grafikonok

A mellékletbe csatoltuk bele az időjárás elemző grafikonokat és a hozzájuk tartozó scripteket. Alapvetően minden ilyen grafikon alapköve az ewp (EnergyPlus Weather) fájl. Amint becsatoljuk, hogy szeretnénk beemelni a Grasshopper-be, megnyitja nekünk az alapértelmezett böngészőnket, amiben megnyitja a ladybug ewp térképét, ahol meg tudjuk keresni a települést, ahova tervezünk vagy a leközelebb eső nagyvárost. Ez az ewp fájl teszi lehetővé, hogy létrehozzunk számos 3D-s interaktívgrafikát/metrikát. Ilyen például a napút, szélrózsa, sugárzási rózsza, sugárzási elemzés, árnyék tanulmányok és nézetelemzés. Ezek közül néhányat példaként becsatoltunk a mellékletbe. Ezeknek a grafikonoknak a létrehozása nem vesz igénybe túl sok időt, egy tapasztalt Grasshopper felhasználó körülbelül 15 perc alatt képes létrehozni a kívánt scripteket, nekünk ez körülbelül 40 percet vett igénybe, a munkafolyamat elején. kutatásunk vége felé ez folyamat lerövidült körülbelül 25 percre. Továbbá előny, hogy ezeket a scripteket el lehet menteni és akárhányszor felhasználni, mivel csak a bemenő adatokat kell megváltoztatni (ewp) és abban a pillanatban aktualizálja nekünk a grafikonjainkat.

ArchiCAD – Rhinoceros – Grasshopper élőkapcsolat

ArchiCAD 18-as verziója óta lehetséges összekötni a programokat élő kapcsolattal. Az épületmodelleket ArchiCAD 25-ben készítettük, ezért döntöttünk úgy, hogy a modellt megtartjuk ArchiCAD-ben, és ezen keresztül végezzük el a parametrizálást. Minden épületen mást parametrizáltunk, így teljesen eltérő módszertanokat kellett használnunk. A parametrikus munkarészt a Grasshopper nevű programban végeztük el, ami jelenleg már a Rhinoba van integrálva. A programok közötti kommunikációt „élő kapcsolaton” keresztül tudtuk megoldani, ezáltal a különféle változásokat könnyedén tudtuk vizsgálni ArchiCAD-ben. Mivel gyakorlatilag

három programot kellett összecsatlakoztatnunk folyamatos szinkronizálással, ezáltal ebben a kapcsolatban több zökkenővel és hibával találkoztunk.

Élőkapcsolat használati módja:

1. ArchiCAD elemek definiálása Grasshopperben

Ez a használati mód is elég szokványos. Ennek a lényege, hogy ArchiCAD-es elemeket definiálunk Grasshopper-ben a beépülő ArchiCAD paletta segítségével, ezáltal fel tudjuk ruházni ezeket plusz adatokkal vagy változtatni tudjuk a helyzetüket, számukat, méretüket stb.

2. Hagyományos felhasználás

Ez a legismertebb és legáltalánosabb használata az élő kapcsolatnak. Ennél a használatnál Grasshopper-ben vagy Rhino-ban határozunk meg egy elemet, amit az élőkapcsolatnak köszönhetően tudunk közvetlenül ArchiCAD-be importálni.

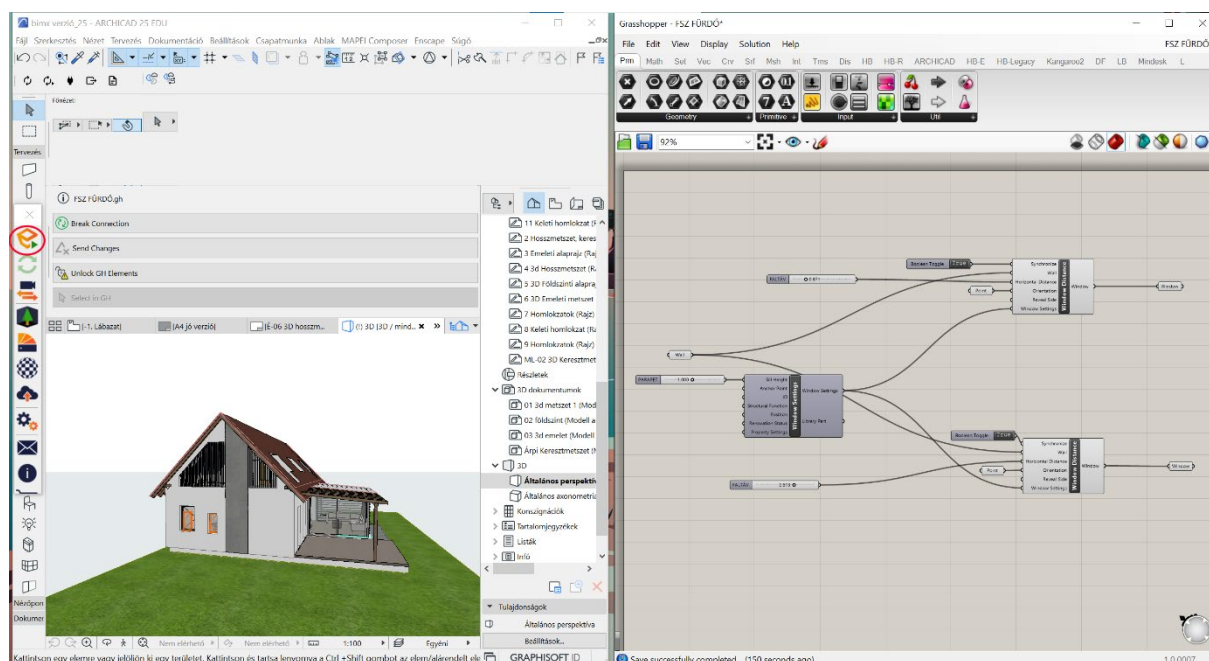
3. Fordított felhasználás

Ez a pont nem feltétlen az élőkapcsolatról szól, hanem inkább az adatátvitelről a két program között. Az élőkapcsolat kizárólag egy irányba működik, ami a Grasshopperből indul, a Rhinoceros-on keresztül az ArchiCAD-be. Hogyha ezt a sorrendet szeretnénk felcserélni, akkor sajnálatosan akadályokba ütközünk, mivel erre az élőkapcsolat sajnos nem képes. Az ezzel kapcsolatosan felmerülő problémákra a későbbiekben térünk ki. Ebben a kutatásban mindegyik az előbbiekben felsorolt módszert alkalmaztuk és megtapasztaltuk ezeknek előnyeit és hátrányait, amit a továbbiakban részletezünk.

Családi ház vizsgálata

Az előző kutatás keretein belül az általunk tervezett családi ház nyílászárók méretének, illetve elhelyezkedését parametrizáltuk (14. ábra), mivel a kutatás során kizárólag a helyiségeinkbe beérkező fény mennyiségét vizsgáltuk, ezért nem volt szükséges az egész épületet parametrizálni, ezért választottuk ezt a felhasználást. A parametrikus elemeket ezért nem létrehoztuk, hanem meghatároztuk. A már meglévő ArchiCAD-es modell elemeit definiáltuk Grasshopper-ben, majd ezek után tudtuk állítani a falon lévő elhelyezkedésüket. Az nyílászárók állíthatóságát kivették a

Grasshopperből, ezért különböző nyílászáró kialakításokat definiáltuk GDL (Geometric Description Language) elemekként, így tudtuk felgyorsítani a vizsgálati opciók generálását. Ez a munkamódszer a már meglévő modellek kisebb léptékű átalakítására tökéletesen alkalmas és viszonylag egyszerűen használható. Ezt a munkamódszert hasonló alkalmazásra javasolnánk. A script megírása körülbelül 5-10 percet vesz igénybe és nem igényel magas szintű hattértudást.

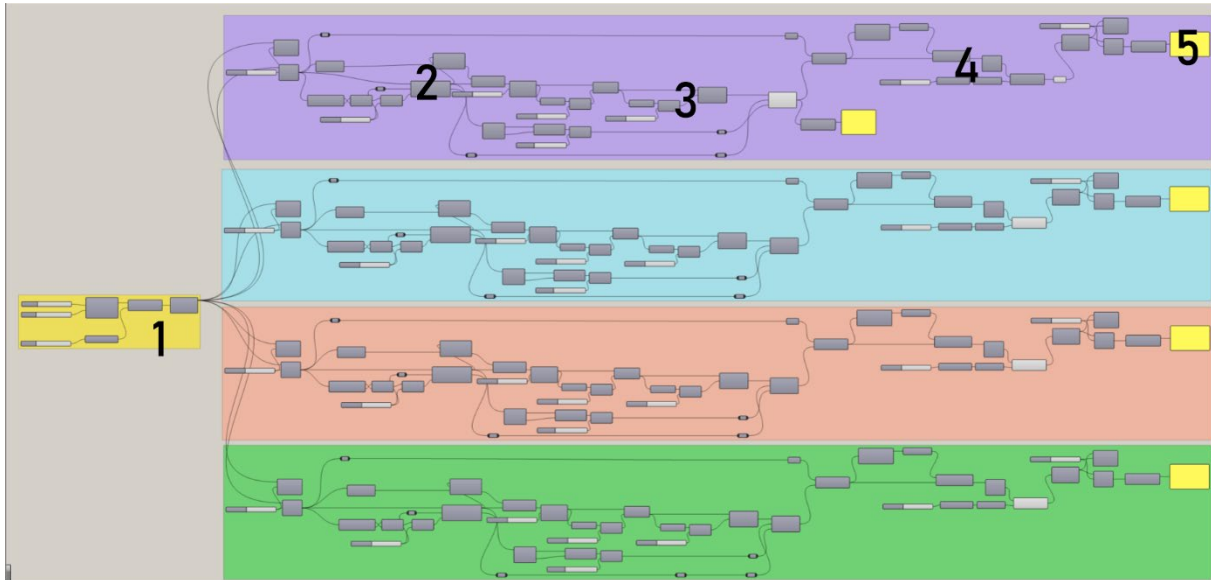


1413. ábra ArchiCAD elemek definiálása Grasshopperben (saját)

Inkubátorház

Elsőként a modellt ArchiCAD-ben kellett megmodellezni. Erre az ArchiCAD modellre tudtuk rá-szerkeszteni a homlokzatot. A homlokzatot kizárólag Grasshopperben készítettük el. A könnyű adatátvitelt az ArchiCAD-Rhino-Grasshopper élőkapcsolattal tudtuk megoldani. Parametrizálás szempontjából az inkubátorház egy egyszerűbb konstrukció, mivel egy kocka alakú épületre kellett felépíteni egy parametrikus homlokzati scriptet (15. ábra). A homlokzat scriptje úgy épül fel, hogy először is meg kellett határozni a geometriát. Miután meghatároztuk a geometriát, ezután az Extrude (kitol) paranccsal megadjuk a magasságot, így elkészült az alapeometriánk (15. ábra/1). Ezek után a magas gépigény és a homlokzati panelek eltérése miatt is külön kellett bontani a homlokzatot négy homlokzati panelre, ezeket jelölik a különböző színű kitöltések. Miután szétbontottuk őket, minden síkot felosztottunk pontokra (15. ábra/2), ezeknek a számát állíthatóvá tettük, állítottunk be ezeknek a pontoknak véletlenszerűséget, ennek köszönhetően nem minden pont

lesz látható, ezért egy véletlenszerű pontháló alakul ki, aminek megadható a pontsűrűsége. Miután megalkottuk a ponthálózatunkat, minden pontot definiáltunk egy kör középpontjaként (15.ábra/3). Ezek a köröket vontuk ki a síkunkból, ezáltal létrehozva a végső geometriáját a homlokzati panelunknak. Legvégül a panelnek kellett adni egy vastagságot és ezzel befejeztük a homlokzatunk kialakítását (15.ábra/4). Legvégül, hogy tudjuk a felületünknek mérni a perforáltságot, tehát a fe-

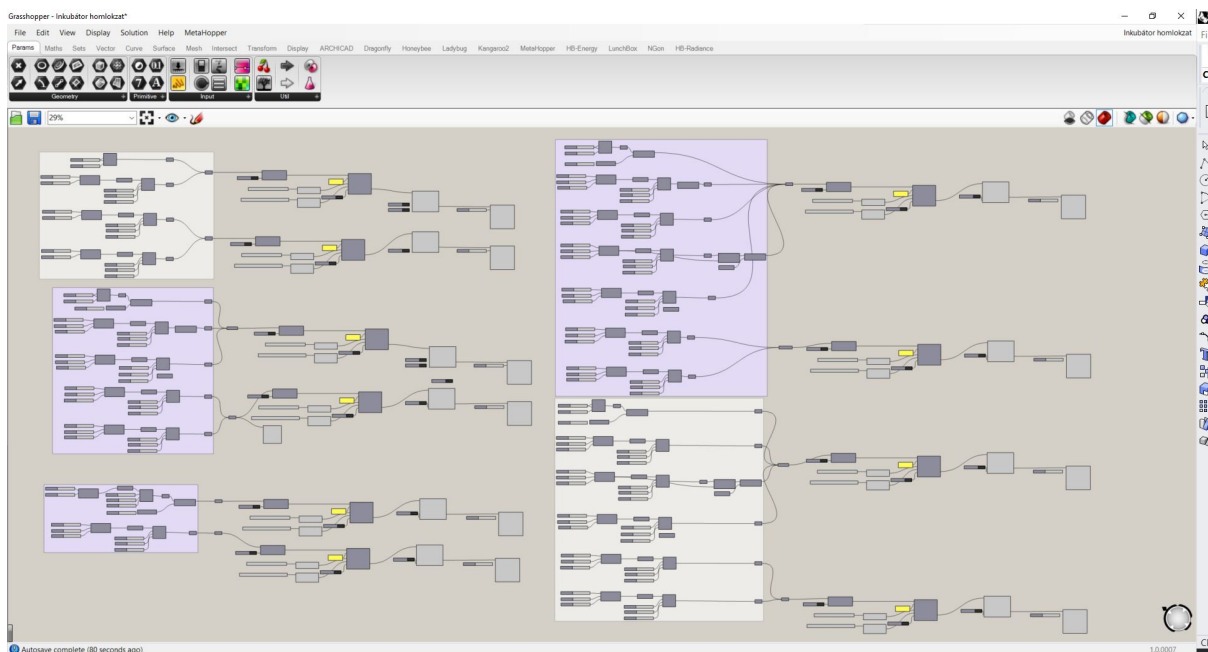


1514. ábra Inkubátorház homlokzatának scriptje (saját)

lületek és kivágások arányát, matematikai egyenleteket adtunk meg, ezáltal valós időben mérni nekünk a felületeket és az áttöréseket négyzetméterben (15.ábra/5).

Az épületünket ArchiCAD-ből mentettük ki 3.dm fájlba majd importáltuk Rhino-ba. Ezen az épületen számos vizsgálatot szeretnénk volna lefuttatni. Első problémánk az elemek definiálásával volt, mivel a Rhino egy 3D modellező program, ezért az áthozott elemek csupán 3D-s elemekként jelennek meg definíció nélkül, ami azt jelenti, hogy nem különbözteti meg a falakat, ablakokat stb., amik elengedhetetlenek a vizsgálatok lefuttatásához. Ahhoz, hogy definiálni lehessen az elemeket darabjaira kell bontani a modellt. A modell részletezettsége miatt 6798 elemre bontja fel, ami olyan mennyiségű elem, ami kezelhetetlen, ezért döntöttünk úgy, hogy az alapeometriánkat felépítjük Grasshopper-en keresztül és azzal a geometriával futtatunk le vizsgálatokat. Először egy *box*-ot helyeztünk le Rhino-ban, ezt definiáltuk Grasshopper-ben, majd ezt a box-ot másoltuk tovább (16. ábra). Minden box-ot szétbontunk, ezáltal tudjuk megadni a helyzetét az xyz koordináta-síkban, továbbá így tudjuk változtatni a box-ok méretét. Minden emeletet külön box-ra bontottunk,

ezáltal kialakítva az emeleteket a vizsgálatokhoz. Ahhoz, hogy létrehozhassuk a tényleges geometriát, a box-ok közös részeit ki kellett vonnunk egymásból. A metszés után a geometriákból meghatározzuk szobákat, a szobákon ablakokat, majd minden szobát definiáltunk egy modellként. A modell igazából annyit takar, hogy egységesítettük ezeket a geometriákat vagy szobákat, így a



1615. ábra Geometria kialakítása (saját)

vizsgálat már nem különálló blokkonként kezeli, hanem egy egész modellként. Ez a modell már alkalmas a benapozás vizsgálatára. Minden szobában létre kell hoznunk egy Grid-et, ez igazából a vonatkoztatási felület, amire a program elvégzi a számításait. Ezt szabványnak megfelelően 50 centiméterre elhúztunk minden határoló faltól és elemeltük 85 centiméterrel a padlószinttől.

Parametrikus vizsgálatok

Vizsgálataink során a Ladybug Tools-t használtuk, ami egy olyan szoftvercsomag, amelyet építészek és építészmérnökök használnak, hogy vizsgálják és optimalizálják az épületek tervezési folyamatát és teljesítményét. Ezek a szoftverek nyílt forráskódúak, és építészeti tervezési és környezeti szimulációs feladatokhoz használhatók. Ahogy már a fentiekben említettük, számos környezeti adatot lekérdeztünk és lefuttattunk több kezdetleges és néhány komplikáltabb vizsgálatot, de komplex energetikai vizsgálatot, mint például, amit az Auricon vagy az MI tud, olyat nem tudtunk létrehozni. Ahhoz, hogy egy energetikai tanúsítvány értékű adathalmazt nyerhessünk ki,

egy nagyon komplex és bonyolult scriptet kellene megírunk, amihez egy nagyon magas felhasználói szintet kellene elsajátítanunk, ami jelenleg még nem sikerült. Próbáltunk segítséget kérni, jónéhány parametrikus tervezésben jártas építésszel, de mindegyiküktől ugyanazt a választ kaptuk, hogy a Ladybug-val csak rendkívül felszínesen foglalkoztak, ha egyáltalán foglalkoztak vele. Ezután megpróbáltuk összerakni az Ladybug.tools-on és más interneten fellelhető oldalon lévő oktatóanyagokból, de azok az oktatóanyagok is csupán az egyszerűbb vizsgálatokig terjednek. A Ladybug.tools oldalán keresztül eljuthatunk a *hydrashare.github.io* (Hydrashare, n.d.) oldalra, ahol rengeteg előre megírt script található, amik egy-egy problémára nyújtanak nekünk megoldást vagy esetleg egy vizsgálat „egyszerűsített” változatát mutatják be.

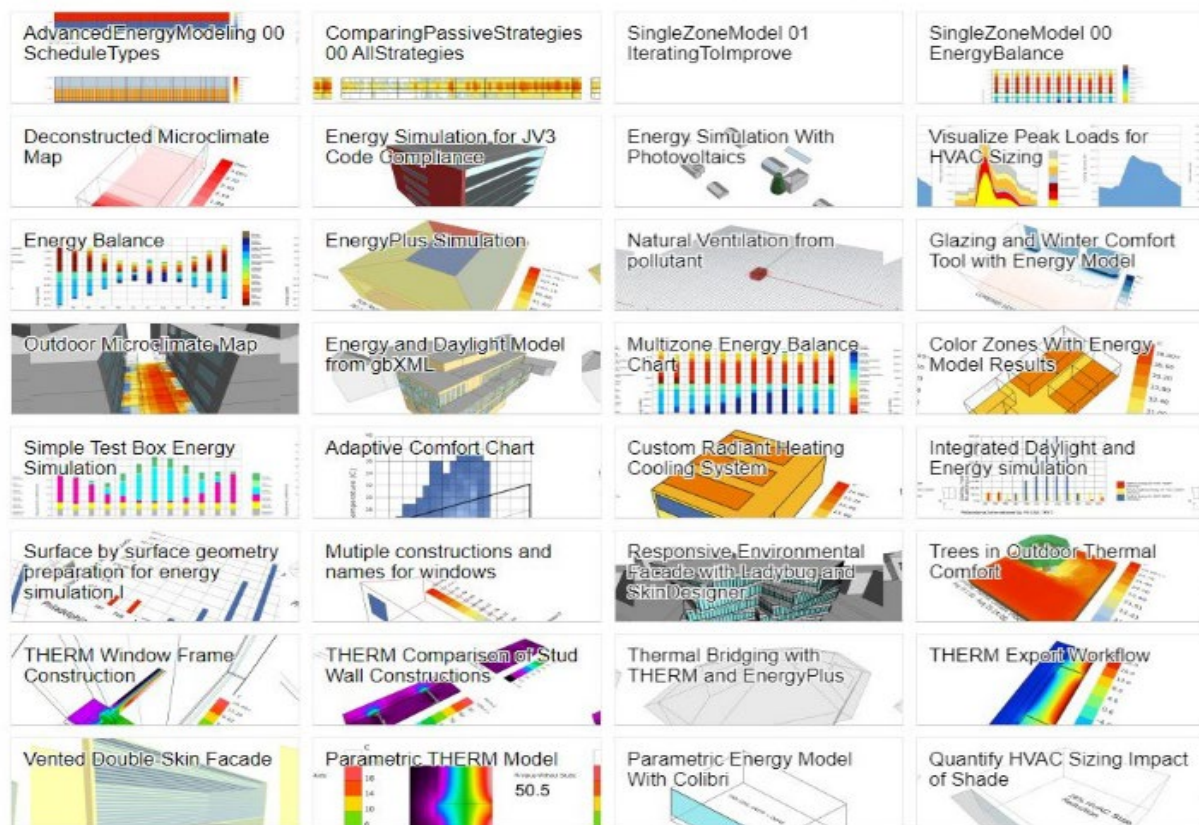
Inspired by bl.ocks.org

[Read Hydra's story and how to share Hydras!](#)

Welcome to Hydra!

last updated at Thu Nov 15 2018 23:30:23 GMT+0100 (közép-európai téli idő)

Newest



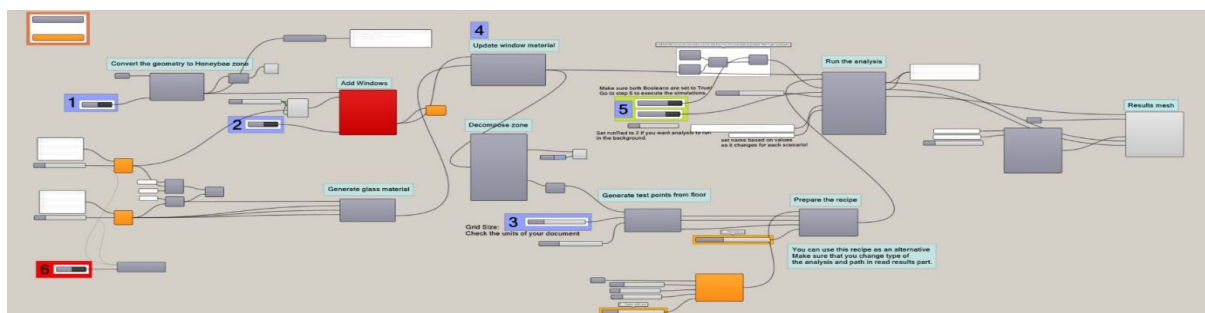
1716. ábra Hydrashare energetikai vizsgálatok (Hydrashare, n.d.)

A fenti ábrán (17. ábra) láthatjuk, hogy a Hydrashare oldalán milyen előre megírt energetikai vizsgálatok közül válogathatunk. Ezek közül emelt energetikai vizsgálat (Advanced energy modeling), továbbá különféle benapozásvizsgálatok foglalkoztunk, amiket a továbbiakban részletezünk.

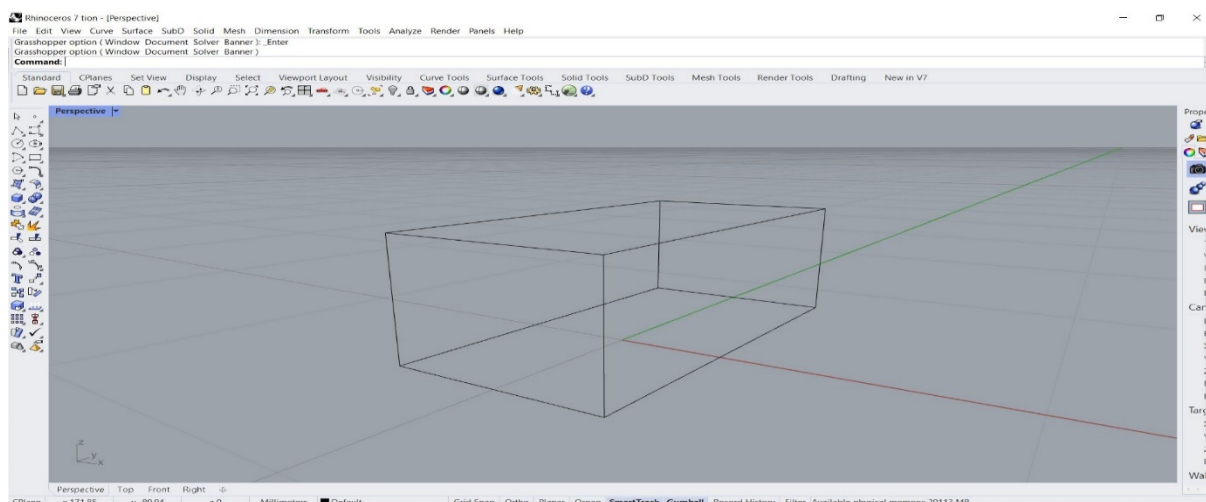
Parametric daylight analysis

18. ábra Dedikált vizsgálat folyamata (saját)

A 18. és 19. ábrán látható a parametrikus benapozásvizsgálat, amit a *hydrashare* oldaláról tudtunk letölteni. Ezek az ábrák alapján már érthetővé válik az előző pontban, miért emeltük ki, hogy ezek a példák egyszerűsített változatok egy-egy vizsgálatához. Itt látható, hogy mekkora script társul egy egyszerű téglatest geometriához. Természetesen nem egyenesen arányos a geometria bonyolultsága a script növekedésével. Első dolgunk a geometria létrehozása. Az inkubátorházhoz, hasonlóan itt is egy box lerakásával kell kezdeni (18/1), amit majd meghatározunk Grasshopperben



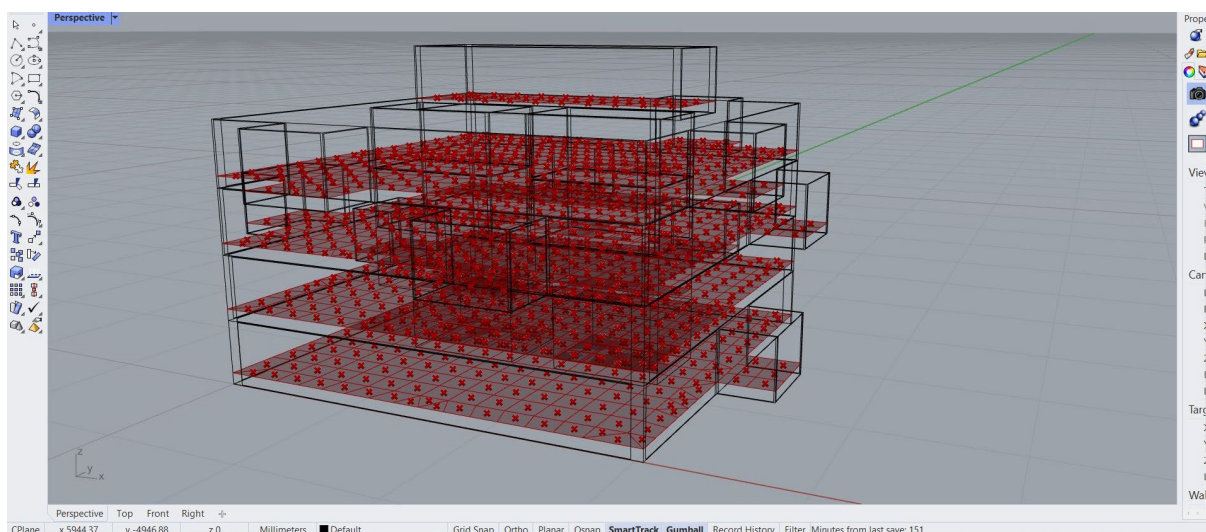
18. ábra Parametric daylight analysis Grasshopper (Hydrashare, n.d.)



1917. ábra Parametric daylight analysis Rhino (Hydrashare, n.d.)

brep-ként. Ezután, hogy a futtatáshoz megfelelő legyen a geometriánk, át kell alakítanunk, ezért konvertáljuk a geometriánkat Honeybee zónává. Ezek után ablakokat adunk hozzá (18/2), amiket megadhatunk a falon kijelölt felületek meghatározásával vagy falon elhelyezkedő nyílászáró-fal

arányának megadásával. Ennél a scriptnél a tervező a második megoldást alkalmazta. Miután kész a geometriánk és meghatároztuk az objektumon a transzparens felületeket, azután kell létrehozni a vonatkoztatási felületet (grid), amit a későbbiekben vizsgálunk. Ezek után minden Boolean Toggle-t, amivel elindítjuk a vizsgálatot „igaz”-ra kell állítani, ezután felugrik a parancssor és elkezdődik a számítás. Két lehetőség van ezután, az első, hogy a vizsgálat valamilyen hibát jelez, ebben az esetben ki kell javítani a jelentés (*report*) alapján, hogyha a vizsgálat sikeres, akkor tudjuk kinyerni a számítások adatait, méghozzá valamilyen diagram vagy grafikonon keresztül, ehhez természetesen egy újabb parancsot (*node*-ot) kell beemelnünk és ezzel véget ér a vizsgálatunk.



20. ábra Inkubátorház vázmodellje és vonatkoztatási felülete (saját)

Az inkubátorház esetében ezt a scriptet mi is elkészítettük. Ez a script és a hozzá tartozó modell megtalálható a mellékletben. A mellékletben megtalálható továbbá egy a honeybee által létrehozott vizualizáció, ami az egyes szerkezeti egységeket (tető, ablak, fal) különböző színekkel jelöli, ami elősegíti a könnyebb megértését a vizsgált modellnek, illetve egy ellenőrzés a tervezőknek, mivel ez láthatóvá teszi a kardinálisabb hibákat. A mi esetünkben sikeres volt a geometria felvétele, az ablakok meghatározása, illetve a *grid* megalkotása is (20. ábra), viszont a futtatás maga sikertelen volt. A futtatást a program elkezdte, de egy ponton megakad és abbahagyja. A futtatás után lekérdeztük a jelentést (*report*) és az alábbi hibakódot írja: „failed createRadfolder”. Ez a hibakód a Radiance nevű kiegészítő programhoz tartozik, valamilyen kompatibilitási hibát jelez, mivel a számítógépen nem érzékeli a Radiance mappát. Ezzel kapcsolatban felvettük a kapcsolatot a Ladybug csapatával, de sajnos előrelépés még nem történt a problémával kapcsolatban.

Parametric energy analysis

Az interneten fellelhető anyagok között nem találtunk komplex energetikai vizsgálatot, hanem csak egyes részegységeket külön-külön. Ezek közül többet is megvizsgáltunk, és az alapját ugyan azok a lépések adják, amiket mi is elvégeztünk, de sajnos a mi vizsgálatunk sikertelen volt, mivel az OpenStudio kompatibilitási hibát jelzett. Kielemezve az interneten fellelhető példákat, az adtabeviteli metódusa nagyon hasonló a többi módszertanhoz, mivel a számoláshoz szükséges adatokat manuálisan kell bevinnünk. Ezt azt jelenti, hogy *number slider* (egy speciális interfészobjektum, amely lehetővé teszi az egyedi numerikus értékek gyors beállítását) node-val vagy egyszerű szöveges (*panel*) eszközzel, amibe az értékeket visszük be manuálisan. A parametrikus energetikai vizsgálatok előnye ugyanaz, mint ami magának a parametrikus tervezésnek, hogy ahogyan változtatjuk a modellt, úgy valós időben változtatja a vizsgálat eredményeit. Minél bonyolultabb a geometriánk, annál nehezebb a scriptet megírni. Ehhez a parametrikus scripthez nagyon magas felhasználói szint szükséges, illetve a script megírása is rendkívül időigényes tud lenni. Ezeknek a tudatában nem feltétlen érezzük validitását ennek a vizsgálatnak.

Vizsgálat közbeni nehézségek

Mielőtt bármit is programoznánk Grasshopperben, először a rengeteg add-on-t kell letölteni, amik segítik vagy lehetővé teszik az energetikai számítást. Ezeknek az add-on-nak rengeteg verziószáma van, amik nem feltétlen kompatibilisek minden verzióval. Ezek között az add-on-ok között szerepel a Ladybug Tools is, amivel elvégezhetjük a környezeti vizsgálatokat. Ennek a letöltésével egy programcsomagot kapunk, aminek a része a ladybug, a honeybee, a dragonfly, a butterfly, de ahhoz, hogy le tudjuk futtatni a komplexebb vizsgálatokat további kiegészítőket kell letölteni, mint például az EnergyPlus, az OpenStudio, a Radiance vagy a Daysim. Ezek közül az EnergyPlus letöltése sikeres volt. A többi program letöltése sikeres volt, de a Grasshopper nem érzékelte, ezért a számításokat nem voltunk képesek lefuttatni.

Továbbá a megemelkedett gépigény miatt a scriptek megírásának ideje felduzzadt, ami leginkább az inkubátorház homlokzatára igaz. Ezért egy nagyobb teljesítményű számítógépet kellett használnunk. Ahhoz, hogy azt a gépet tudjuk használni, az előbbieken felsorolt letöltési folyamatot újra el kellett végezni, ami már a legelején elakadt. A Rhino piacra dobta a legújabb verzióját a

Rhino 8-at. Az ingyenes próbaidőszakos licenccel, amit mi is használunk, csak a legújabb verzió letöltése lehetséges, ezért nem volt más választásunk, mint a Rhino 8 letöltése. Ez probléma mentesen lezajlott, viszont ilyen gyorsan nem tudott reagálni a piacon lévő többi program és kiegészítő, ezért még minden csatlakozó program a Rhino 7-hez van optimalizálva és konfigurálva, ezért számos add-on nem működött, illetve a már megírt scriptre rátett egy „old” feliratot és az összes ladybug-os letett elemet kiszínezte pirosra, ezzel jelezve azt, hogy verzióváltás szükséges. A ladybug-on belül van egy olyan node, hogy alapvetően lefrissíti a legújabb verzióra, de a mi problémánkat ez a node sem oldotta meg. Továbbá a Rhino-ArchiCAD élőkapcsolat Rhino7 és ArchiCAD 27 között működik

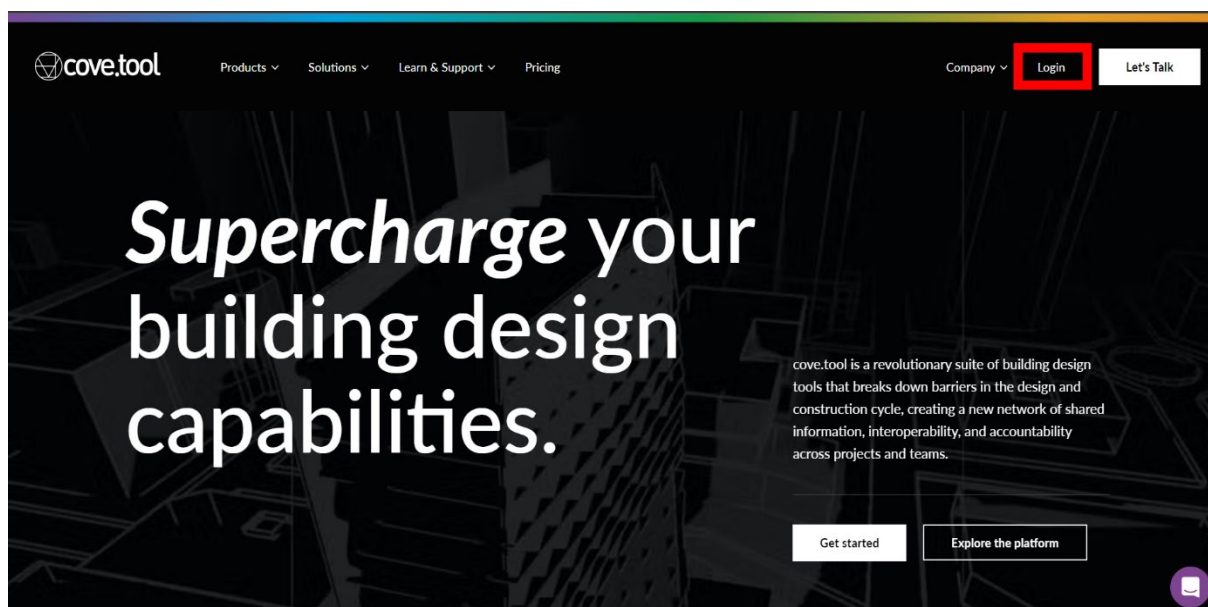
6.5 Mesterséges intelligenciás vizsgálatok

Oktatási lehetőségek a mesterséges intelligencia alkalmazásokban

A mesterséges intelligencia vizsgálatok egyre szélesebb körben terjednek el, több az általános leírásnál (4.3 számú bekezdés) említett szoftverfejlesztő céggel vettük fel a kapcsolatot a dolgozatírást megelőzően. Ezek közül több szoftverfejlesztő cég vezető beosztású programozójával vagy menedzserével volt megbeszélésünk a szoftverek teszteléséről. Ezeken a megbeszéléseken kiderül, hogy az alkalmazásokat jelenleg kereskedelmi felhasználásra hozták kizárólag nyilvánosságra. A megbeszéléseket a DBF (Digital Blue Foam), Cove.tool (*Cove.Tools*, n.d.), és a Space-maker MI munkatársaival folytattuk. A megbeszélések egyedül a Cove.tool-nál jártak sikerrel, ettől a cégtől kaptunk alkalmazásra hallgatói felhasználói licencet, a többi cég jelenleg még elzárkózott a hallgatói együttműködéstől. Ezek után természetesen megkérdeztük a cégeket, hogy hosszabb távon elérhetőek lesznek-e ezek az alkalmazások oktatásban is, ettől egyik cég sem zárkózott el, de az indulási fázisban még nem tartják megfelelőnek az oktatási licencek kibocsátását. *Cove.Tool mesterséges intelligencia alkalmazás munkafázisa* (*Cove.Tool Alkalmazási Felület*, n.d.)

Az elemzési folyamat fotódokumentációja a mellékletben megtalálható.

A mesterséges intelligencia vizsgálatok a Cove.Tool nevezetű mesterséges intelligencia alkalmazásban készültek. Az algoritmus egy internetes felhasználási felületen keresztül használható. Első benyomásra a felhasználó felület egyszerű és könnyen feltérképezhető. A projektekhez a <https://cove.tools/> weboldaltól való belépés után férünk hozzá (21. ábra). A projektek név szerint kereshetők és mappákba is rendezhetők. Ezen a felületen találunk egy olyan fület is, amelyben egy új projektet tudunk hozzáadni a programhoz. Ezen felül az alkalmazásnak van egy olyan lehetősége is, hogy felhasználók között, csapatmunka jelleggel megoszthatóak projektek. Ezek a projektek egy „Shared with you” nevezetű fülön érhetőek el, továbbá a projektekhez rendelhetünk bélyegképeket, amik szintén megkönnyítik a keresést. A projektet, amin dolgozni kívánunk szimplán dupla kattintással nyithatjuk meg, éppen úgy, ahogy más tervezőprogramokban is.



21. ábra Cove.Tool weboldal (bejelentkezés gomb pirossal kiemelve) (Cove.Tools, n.d.)

A projekt megnyitása után betölt a tényleges munkafelület, amely lépésenként vezet végig minket egy beállításokkal teli munkafolyamaton.

Elsőként a felület felkínál egy általános projektbeállítási részt, amiben a tervezett épülethez kapcsolódó általános információkat állíthatjuk. Ilyenek például a már említett indexkép, a projekt neve és száma, ezeken felül beállítható az épület funkciója is. Itt lehet beállítani a tervezési helyszínt is egy egyszerű Google térképes helymegjelöléssel. A további és meglehetősen fontos beállítások az energetikai szabvány és a projektünk méretezései. Az energetikai szabványnál

2007-2019-es IECC (International Energy Conservation Code) közül tudunk választani, illetve egy amerikai szabványt a lakóépületekre, ami az ASHRAE 2018 (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers 2018) szabványa. Ezek után a beállítások után, tudunk létrehozni egy sablont ezekkel a beállításokkal, hogy később felhasználhassuk a területen lévő további épületek elemzésére. Esetünkben a családiháznál ASHRAE Residential 2018-as szabványt használtunk. A másik két épületnél az ASHRAE 19 szabványt használtuk, ami az IECC 2021 szabványnak megfelelő. Ezen felül mindegyik projektnél a metrikus rendszerben elemeztük az épületet.

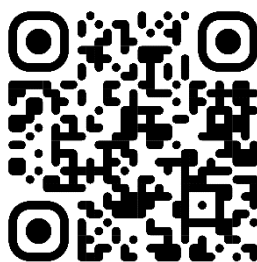
A második lépés a geometria fül, amelyen 3 lehetőséget kapunk a geometriánk létrehozásához. Az egyik az a Cove.tool plug-in, ami elérhető a legtöbb 3D modellező szoftverhez, mint például az ArchiCAD, Revit és Rhinoceros3D. Ez a plugin lehetőséget ad, hogy a modellező programban lévő geometriát hozzárendeljük a projektekhez. Ezen felül még két további lehetőségünk van, az egyik a manuális bevitel, amiben a program különböző épületadatok alapján egy sematikus homlokzati képet alakít az épületről. A harmadik és végül utolsó opció a geometria létrehozása az alkalmazáson belül.

A harmadik lépés a 3D modellező fül, amit az alkalmazásban „drawing.tool” -nak hívnak. Ezen a fülön az importált geometriát vizsgálhatjuk meg és írhatjuk felül, ha esetleg nem volt megfelelő az import. Továbbá itt építhetjük meg az épületünket egy képet vagy egy dxf. fájlt behúzással pauszként. A program alapvetően egyszerű elemekkel dolgozik, amelyek felhasználóbarátá teszik a munkát. Az itt lévő beállításoknál tudjuk meghatározni az épületszerkezetek milyenségét, réteges szerkezeteket, anyagokat és funkciókat. Itt tudjuk definiálni az épületeken belüli szobákat is.

A negyedik lépés a 3D analízis fül, ahol a program alapvetően különböző elemzéseket futtat. Ilyenek például az ASE (Annual Sunlight Exposure – éves napfényexpozíció), ez a tér olyan százaléka, amelyben a közvetlen napsugárzás értéke meghalad egy előre meghatározott határértéket és az sDA (Spatial Daylight Autonomy – térbeli napfény autonómia), ami a megfelelő napfényt kapó tér arányát írja le az egész nettó alapterülethez viszonyítva. Egy másik fontos ilyen elemzés a sugárzási potenciál, ami megmutatja, hogy az épület egy-egy pontján mekkora napsugárzás éri. Ezen felül további vizsgálati lehetőségek a napsütötte órák száma, az

árnyékoltság és vetett árnyék diagram, továbbá lehetőségünk van többféle vizuális kapcsolat analízisre is. Ami ezen felül még érdekes, hogy a szoftver egy COVID elnevezésű analízist is kínál számunkra, ami a COVID-19 járvány miatt került be, mivel ez megmutatja melyek az épületen belül a kevésbé veszélyes zónák.

Az ötödik lépés a homlokzati prototípus készítés fül (facade prototyping). Ezen a fülön az épület különböző homlokzatait mutatja számunkra a program a mesterséges intelligencia segítségével



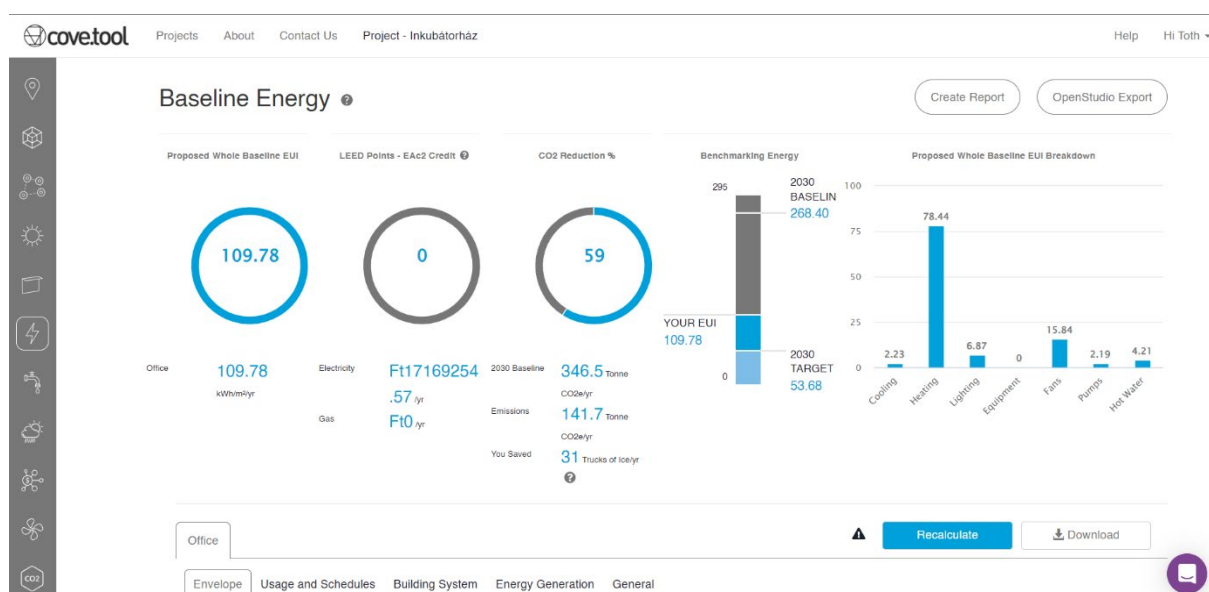
22. ábra A 3D analízis lehetőségek a programban (saját)

<https://me-qr.com/QXbO6AKy>

létrehozott sematikus módon. Itt lehetőségünk van a nyílászárókat méreteit beállítani, illetve az árnyékolókat hozzáadni, ezen felül ezek paramétereit számcsúszkákkal tudjuk állítani, úgy ahogy a parametrikus tervező programokban is.

A hatodik lépést a programban baseline energy-nek (alapszintű energiának) nevezik. Itt az energiafelhasználásról ad egy részletesebb elemzést a program. Ezen a fülön grafikonokon keresztül értelmezhetjük az épületünk energiafelhasználási értékeit. Az első ilyen grafikon a Proposed Whole Baseline EUI – Javasolt teljes EUI alapérték, amiben az EUI (Energy Use Intensity) az energiafelhasználási intenzitást jelenti, ami a magyar szabvány szerint az összesített energetikai jellemzőként tekinthető. Ezen felül LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) minősítésű értékelést jelző diagram is megtalálható és ezeken felül még több energia jellemző teljesítményértékelését tekinthetjük át könnyen értelmezhető formában. Ezen a fülön továbbá felülírhatjuk a program által generált hőátbocsátási tényezők értékét és még jó néhány olyan paramétert, ami befolyásolhatja az energetikai teljesítményt.

A hetedik lépésben a jelenlegi kutatásunkban kevésbé releváns, de épülettervezésnél fontos teljesítmény jellemzőt vizsgálhatunk, ami az épület vízfelhasználása. Itt a program szintén MI algoritmus alapján térképezi fel az épület vizes zónáit, amelyekbe optimálisan állítja be a szaniterek, zuhanyzók és egyéb vizes berendezéseket. Ennél a lépésnél szintén megjelennek az előző lépésben megemlített diagramok. Itt a felhasználó áttekintheti az éves víz felhasználását. Emellett természetesen a program lehetőséget ad korrekciókra is, ezeknél a vizes berendezések tényleges számát állíthatjuk be, illetve lehetőséget kapunk különböző rendszerek beállítására is, amelyek víz hozammal számolhatnak az épületnél.

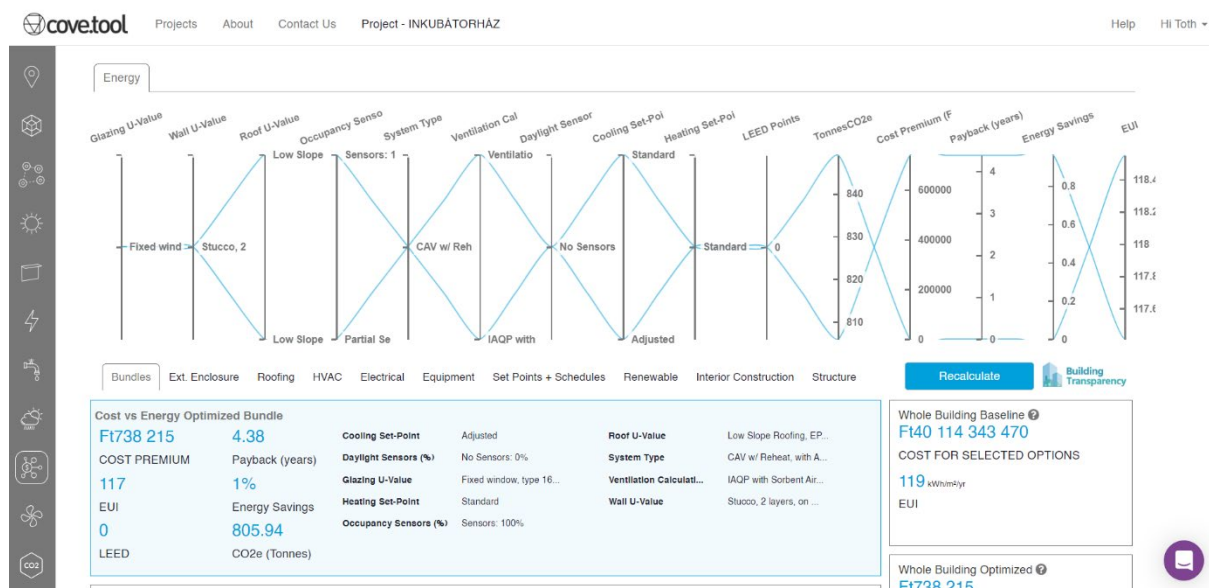


23. ábra A Cove.Tool energetikai elemző felülete (saját)

A nyolcadik lépés a klíma analízis ismertetése. Itt a program megjeleníti azokat az adatokat, amelyek az adott helyhez legközelebb eső, elérhető időjárási jellemzőket elemzi. Azontúl, hogy a program diagramokat és grafikonokat készít nekünk, az uralkodó szélről, a nappályáról, az éves esőzésekről, még értelmező ábrákat és leírást is készít, hogy a szakágban kevésbé jártas vagy laikus felhasználók is képesek legyenek kiértékelni és megérteni a diagramok által mutatott értékeket.

A kilencedik lépés a költségoptimalizáció. Itt a felhasználónak lehetősége van az épületszerkezetek, üzemeltetési rendszerek és épülethasználati szokások által generált költségek felülírására. Illetve az épületoptimalizálásának területeit csúszkákon állíthatjuk és a szoftver MI-ja ehhez megfelelően optimalizálja. Ezen beállítások után az MI algoritmus alternatív

lehetőségeket javasol az épület átalakítására totális átalakításon keresztül egészen finomhangolási lehetőségekig.



24. ábra Cove.Tool optimalizációs felülete (saját)

Tizedik lépésként egy loadmodelling.tool nevezetű alkalmazást találunk, amely lehetőséget ad épületgépészeti rendszerek modellezésére. A program ahogy az előző részeknél is, itt is generál egy az általa elképzelt optimális felhasználhatóságra alkalmas rendszert gépészetileg, de ez rész főként a légtechnikai rendszerekre van kiélezve.

A végső, tizennegyedik lépés a projekt szén-dioxid kibocsátásának elemzése. Itt meg kell adnunk néhány általános adatot a projektről, amelyek szükségesek lehetnek ennek az elemzésnek az elvégzéséhez. Ezután a program számol a pár megadott adatból egy megközelítőleges értéket a szén-dioxid kibocsátásra. A felületes elemzés után lehetőséget kapunk egy jóval átfogóbb elemzésre is, itt már a projekt teljes szerkezeti részletességig bevihető a szoftverbe, majd az MI algoritmus ebből számít egy sokkal adekvátabb eredményt. Bár a jelenlegi kutatásban nem igazán lényeges ez a funkció, de a világban lévő törekvések a szén-dioxid kibocsátás csökkentésre meglehetősen alátámasztják ennek a funkciónak a relevanciáját.

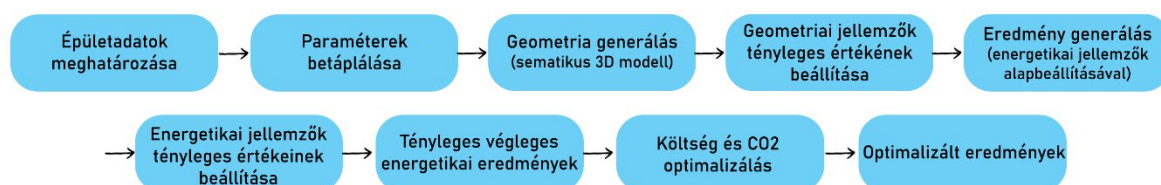
Vizsgált épületek elemzése a programban (manuális verzió)

A modell exportnál több módszert is kipróbáltunk, a manuális adatok bevitelét és a 3D geometria előkapcsolattal történő importálását. Először a manuális bevitelt választottuk, mivel felmerült egy

probléma, amit később ismertetünk. A manuális bevitelnél az Inkubátorházat vizsgáltuk, ebben az esetben szükséges a 3D modellező programból kinyerni adatokat az épületből. Itt hasonlóképp kell eljárunk akár csak egy numerikusan dolgozó elemzőprogramnál. Szükségünk volt az épület teljes magasságára, a homlokzati felületekre (tömör felületek – áttetsző felületek), a teljes nettó alapterületre és az épület tetőfelületére. Ezenfelül az épület tájolását kellett megadnunk. Ezután a manuális munkamódszernél a program alapvetően nem készít 3D modellt, így a „facade prototyping” részhez navigál minket, ahol a homlokzati jellemzőket kell beállítanunk. A homlokzati jellemzőknél további beállításokat találunk, ahol a homlokzati árnyékoló elemeket tudjuk az épületen beállítani. Ez a rész kiemelten fontos mert nagy hatással van az analízis eredményeire.

Ezután az általános energia analízisben megtaláljuk a program által általános beállításokkal kapott energetikai elemzés eredményeket. Az eredmények különböző grafikonok formájában jelennek meg, itt láthatjuk például az az energiafelhasználási intenzitást, LEED pontokat, amelyeket a szoftver egy saját rendszer szerint analizál, emellett a szükséges CO₂ csökkenést is láthatjuk százalékban a 2030-as szintig. Továbbá láthatunk egy olyan elemző grafikont, ami egy oszlopon mutatja a 2030-ban minimálisnak tekinthető energetikai alapértéket energiafelhasználási intenzitás szinten, az oszlop másik jelzése a 2030-ra elérhető energiafelhasználási csökkentést mutatja. Ezek mellett egy oszlopdiaagramon láthatjuk azt, hogy az energiafelhasználás milyen rendszereknél mennyi energiát használ el éves szinten. Ezen felül a program készít egy éves összeget forintban, amelyet a gáz, illetve elektromos energiára kell költenünk. Az eredmények ilyenkor még nem véglegesek, hiszen a programban ezután kalibrálni kell az épület tényleges értékeit, a hőátbocsátási tényezőket, az energiaszolgáltató rendszereket, az energiaautomatizálást, a felhasználói időszakokat és több egyéb beállítást.

Ezen felül alapvetően a program munkafázisainál leírt folyamaton végig haladva kitudjuk értékelni az épületünk teljesítményét.

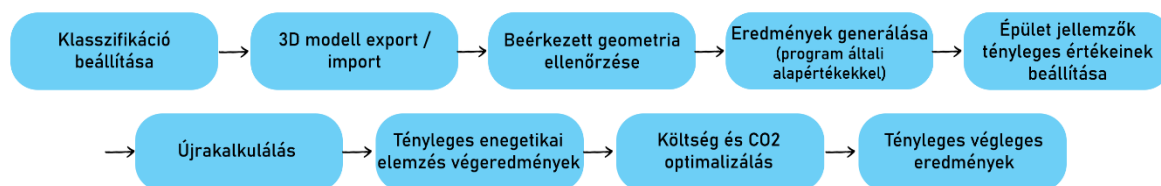


25. ábra Manuális munkafolyamat Cove.Tool MI alkalmazásban (saját)

Vizsgált épületek elemzése a programban (plugin verzió)

A másik ilyen a plug-in-val történő modell export és import. Az érdekessége ennek a kapcsolatnak, hogy a tervezőprogramból az épületgeometriát közvetlenül az internetes felülethez tudjuk kapcsolni. Ebben az esetben telepíteni kell a weboldalról egy a modellező programunkhoz készített plug-in-t. A plugin telepítésével az általunk használt ArchiCAD-ben megjelent egy új klasszifikáció, amely a Cove.Tool-ba való importálásnál segít definiálni bizonyos épületelemeket. Ezt a klasszifikációt minden olyan elemnél alkalmaznunk kell, amelyek szükségesek lehetnek az analízishez és a modell átvitelhez. Miután minden elemet beállítottunk a modellgeometriát a projektbeállítás után a Cove.Tool automatikusan átveszi. A program az átvett geometriát a drawing.tool fülön megjeleníti mind két dimenzióban, mind pedig három dimenzióban. Ezen a geometriai fülön a családháznál, illetve az inkubátorháznál is megfigyelhető volt, hogy az elemek „szétestek”. Ez a probléma csak ennél a megjelenítésnél volt megfigyelhető, az analízisek kimenetelét nem befolyásolta, így nem volt szükség a 3D elemek szerkesztésére. Ezután a programban a „3D analysis” fülön az épület modellt már a tervező programból átvett geometriával jelenítette meg a szoftver. A projektadatokból kinyert adatok által a program az épületet a környezetbe is illesztette. Itt a környezetben való helyzetét tudjuk változtatni az épületnek a mozgatásával. Ezek után a munkafázisokban leírt analíziseket képesek vagyunk modell alapon vizsgálni.

Mindezek után a további munkafázisokat követve, teljesen ugyan azon a munkafolyamaton kell végig haladni, amit ismertettünk az alkalmazás munkafázisai bekezdés alatt.



26. ábra Modell alapú plug-in-val történő geometria átvitel cove.tool-ba (saját)

Manuális és 3D modell import közötti különbségek

A manuális munkafolyamat és a 3D modell import munkafolyamat, kezelhetőség és modell elemzés szempontjából is különbözik egymástól. A programban a manuális adatmegadás után nincs

lehetőségünk a 3D geometria megtekintésére, illetve a 3D analízis megtekintésére sincs lehetőségünk. Ezenfelül a költség és CO2 optimalizálás is sokkal bonyolultabb, hiszen itt nem tényleges szerkezetekre optimalizálunk, hanem egy értékeken alapuló fiktív rendszerre.

A vizsgálat során felmerült nehézségek

A program használata bár egyszerű, néhány nehézséget mégis tapasztaltunk. Az egyik nehézség a programban lévő loadmodelling.tool-hoz való hozzáférés hiánya volt, így a vizsgálatokban ezt a fázist nem tudtuk használni. Ezen felül a legfőbb nehézség a 3D geometria importálása volt. Eleinte a szoftver használatához nem kaptunk előkapcsolatra alkalmas plugin hozzáférést, ami meglehetősen megnehezítette a geometria programba való importálását. Érdeemes megemlíteni, hogy az interjúk során a Cove.Tool volt az egyedüli, aki adott hozzáférést a programjához, de kiemelték, hogy nem fogunk kapni élőkapcsolati lehetőséget a programhoz. Emellett kiemelték, hogy bár élőkapcsolatra nincs lehetőségünk, 3D dxf. -ként importálni tudjuk majd a geometriát a szoftverbe. A dxf. az exportálás után 3 GB méretű lett, a programban viszont 5 MB-nál nagyobb fájl nem volt lehetőségünk feltölteni. A problémát egy olyan Cove.tool által elkövetett hiba orvosolta, amelyben az egyikünk hozzáférése a plugin-hez nem lett korlátozva. Az ArchiCAD – Cove.Tool plug-in-nak viszont a klasszifikációs meghatározása után a program nem tudott exportálni, majd több elem klasszifikálása után képes volt az exportálásra. Ezalatt a folyamat alatt a program egyszer sem adott hibajelzést, így iteratív jelleggel tudtuk meghatározni, mikor lesz megfelelő a modell az exportálásra. A további nehézség nem szoftveres jellegű, a program angol nyelven elérhető és magasfokú angoltudást igényel a sok szakkifejezés miatt, ami az idegennyelvben kevésbé gyakorlott felhasználók dolgát nehezítheti.

6.6 Összehasonlítás

A tanulmányban a szoftvereszközök vizsgálata három kulcsfontosságú módszertant ölelt fel. A vizsgálat során azonos paramétereket alkalmaztunk minden épület esetében, minden szoftverben. Az alkalmazott paraméterek az alábbi (1.táblázat) táblázatban láthatóak.

a vizsgálatok során alkalmazott paraméterek				
	fűtésrendszer	haszn. melegvíz rendszer	hűtésrendszer	szellőztetőrendszer
családi ház	elektromos üzemű, levegő/víz hőszivattyú	hőszivattyú hmv. készítése -> távozó levegő	kompresszoros léghűtés	-
inkubatóház	távfűtés	távfűtés	léghűtéses kompakt és osztott kivitelű folyadékhűtő	hővisszanyerős szellőztető

1. táblázat A vizsgálatok során alkalmazott paraméterek (saját)

Először a dedikált vagy beágyazott szoftvereszközöket tárgyaltuk, amelyek a legalapvetőbb programokat képviselik. Ez a munkafolyamat tulajdonképpen a tervezés minden olyan fázisában használható, amelyben már konkrét épületadatokkal tudunk dolgozni, például engedélyezési és kiviteli terv. Bár ezek az eszközök még mindig széles körben használatosak, a nem modellalapú munkafolyamatok miatt jelentős szakértelmet és jelentős időbefektetést igényelnek. Mindezek ellenére a piacon lévő jelenlegi szoftverek közül ezekkel a szoftverekkel vagyunk képesek megfelelő tanúsítványt előállítani magyarországi viszonylatban, hiszen ezek a szoftverek képesek a magyar szabványok kezelésére.

Másodszor, a parametrikus tervezést taglaltuk, ahol az innováció a dinamikus változásokövetésben és a paraméterek beállíthatóságában rejlik. Ez a munkamódszer főként globális vizsgálatokra alkalmas, így a koncepció tervezésnél, illetve a vázlattervezésnél vehetjük nagy hasznát. A parametrikus energetikai vizsgálatok nem hoztak akkora áttörést, mint vártuk. A scriptek megírása magas háttértudást igényel, emiatt egy-egy script megírása hosszabb ideig is eltarthat. Nem minden tervezési feladathoz alkalmas a parametrikus tervezés. Továbbá bizonyos scriptek esetében, ahhoz, hogy a munkafolyamat gördülékeny legyen erőteljes hardverekre van szükség, mivel a komplex modellek és számítások nagy mennyiségű számítási teljesítményt igényelhetnek. Ez magasabb számítógépköltségeket eredményezhet. Az energetikai vizsgálatok esetében a bemenő adatokat a dedikált energetikai vizsgálatokhoz hasonlóan numerikusan kell betáplálni a rendszerbe.

Végül a tanulmány a mesterséges intelligencia által vezérelt szoftvermegoldásokat vizsgálta, amelyek az energiaelemzés újhullámos megközelítését képviselik. Ez a munkamódszer a magyar szabványok hiányában jelenleg nem alkalmazható tényleges energetikai analízisre, de a

kon koncepció és vázlatte rvi fá zisban megfelelő en alkalmazható vizsgálatokra. Az ilyen szoftvermegoldások gyors tanulási képességeivel pontos elemzést és optimalizálást tesznek lehetővé, mind a modell, mind a numerikus szempontok tekintetében. Az általa generált elemzések meglepően pontosak és könnyen értelmezhetőek, feltéve, ha az ember szakmai angoltudása megfelelő szintű. A használatát tekintve a program felhasználóbarát, de nehezen hozzáférhető diákként, viszont a kereskedelmi licence cégeknek könnyen megvásárolható. A Cove.Tool alkalmazás a használat során meglepett bennünket, hiszen a vártnál jobban teljesített és bár a bevitt geometriát sokszor nehezen értelmezhetővé tette, az analízisek megfelelően futottak le.

Az összehasonlításunk alapját a különböző szoftverekből kinyert számadatok, illetve a munkamódszer használatából eredő tapasztalat adta. A használat során felfedeztünk kapcsolódási pontokat a különböző szoftverek között. Ezek a kapcsolódási pontok főként saját szubjektív tapasztalatainkon alapulnak. A három program között fellelhető egyedi azonosság, az, hogy numerikusan kell bevinni adatokat a programba, az elemzések elvégzése érdekében. Emellett találtunk több összefüggést, amelynél az mesterséges intelligenciát hasonlítottuk főképp a hagyományos, illetve a parametrikus elemzési módszerekhez. Ezeknél az összefüggéseknél kiderült, hogy a mesterséges intelligencia alkalmazások, a két korábbi módszerből származtathatóak, hiszen ezek legjobb tulajdonságait vették át. A hagyományos módszerekkel való hasonlóságuk a sok bevezető energetikai paraméter, illetve a szabványok használata, hiszen ezek elengedhetetlenek az energetikai elemzéshez. A parametrikus elemzés meglehetősen megkönnyítette az adatelemzést, mivel az adatokból képes értelmezhetőbb grafikonokat készíteni, a mesterséges intelligencia ezt a tulajdonságot is átvette. A különbség e tekintetben, hogy a mesterséges intelligencia a grafikonokhoz értelmező leírást is biztosít. Mindemellett a mesterséges intelligenciában lévő homlokzati beállítások ugyanazt a paramétercsúszkás megoldást alkalmazzák, mint a Grasshopper, ezzel egyszerűsítve a számadatok kezelését.

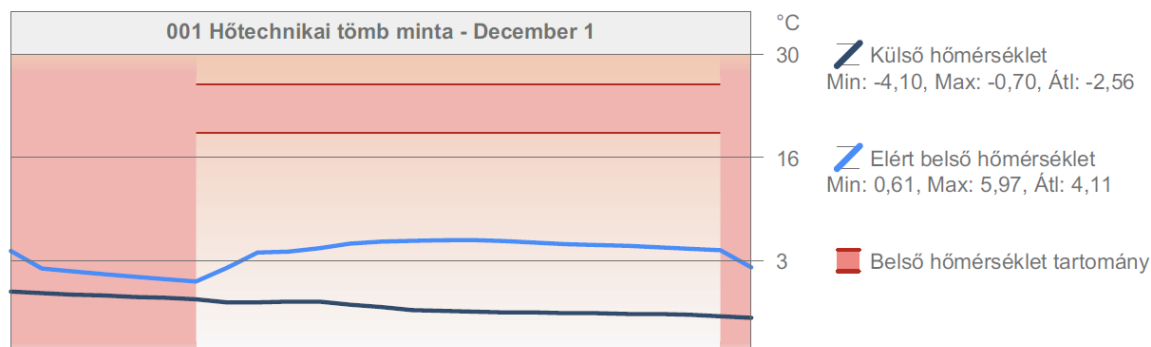
A lenti (2. táblázat) táblázatban láthatóak a különböző szoftverek vizsgálataiból kinyert adatok. Alapvetően észrevehető, hogy a különböző módszerek eredményei egyes esetekben közel azonosak, másutt jelentős eltérést mutatnak. Az elemzés pontosságának a meghatározásához az Auricon adatait vettük alapul. Az ArchiCAD Energy Evaluation esetében látható, hogy a családi ház

esetében hatalmasok az eltérések, ez részben a program számítási folyamata miatt van, illetve valószínűsíthetőleg volt egy modellezési hibánk. A hiba nagy valószínűséggel össze nem érő

Kimeneti adatok összehasonlítása (kWh/m ²)					
	Auricon	Energy Evaluation	Ladybug	CoveTool	CoveTool manuális adatbevitellel
Csh. Összesített energetikai jellemző	58,2	218,2	-	31,48	-
Csh. Fűtés fajlagos energia igénye	40,08	123	-	17,68	-
Csh. Használati melegvíz fajlagos energia igénye	16,87	68,95	-	10,18	-
Csh. Hűtés fajlagos energia igénye	1,25	19,84	-	0,73	-
Iroda Összesített energetikai jellemző	103,73	172,31	-	109,78	118,55
Iroda Fűtés fajlagos energia igénye	50,47	68,8	-	78,44	83,45
Iroda Használati melegvíz fajlagos energia igénye	8,39	48,6	-	4,21	4,46
Iroda Hűtés fajlagos energia igénye	2,35	1,73	-	2,23	2,26
Iroda szellőztetés fajlagos energia igénye	32,52	4,18	-	15,84	16,6

2. táblázat Kimeneti adatok összehasonlítás (saját)

falakból, vagy a tető csatlakozásának a hibájából fakad, ugyanis az értékelési jelentésben látható, hogy téli hónapokban a belső térben az átlaghőmérséklet kifejezetten alacsony (27. ábra). Ez a



27. ábra Energy Evaluation belső hőmérséklet grafikon

hiba csak abból fakadhat, hogy az épület termikus burkának a vonalvezetése megszakad. Külön érdekesség, hogy a CoveTool korrigálja ezt a modellezésből fakadó hibát.

Az irodaház esetében már kisebb az eltérés, ugyanakkor az adatok itt sem pontosak. A CoveTool esetében az eredmények nagyon közel vannak az Auricon eredményeihez, bár minimális eltérések itt is észrevehetőek, ami adódhat a programok számítási módszereinek az eltéréséből. Mivel az eredmények között ilyen alacsony az eltérés, így akár Magyarországon is használható a tervezés során a megfelelő energetikai tulajdonságok kialakításához.

A különböző módszertanok munkafolyamatát egy általunk meghatározott szubjektív szempontrendszer szerint értékeltük. Az értékelés során kitértünk arra is, hogy egy vizsgálatot mennyi idő alatt lehet elkészíteni az adott programmal, hogy mennyi idő alatt tudjuk elsajátítani a program használatához szükséges tudást. Továbbá, hogy mennyire érthető a program kezelőfelülete, illetve, hogy az exportált adatok mennyire könnyen értelmezhetőek. Meghatároztuk a program futtatásához szükséges gépigényt, illetve azt, hogy véleményünk szerint mekkora potenciál van a későbbi használatában. A következő, 3. táblázatban láthatóak az általunk adott értékek a munkamódszerek jellemzőire.

programok összehasonlítása				
	Auricon	Energy Evaluation	Ladybug	CoveTool
munkaidő	●●●○○	●●○○○	●●●●○	●●○○○
tudás elsajátításához szüks. Idő	●●○○○	●●●○○	●●●●●	●●●○○
exportált adatok érthetősége	●●○○○	●●○○○	●●●●○	●●●●●
kezelhetőség	●●●○○	●●○○○	●○○○○	●●●●○
gépigény	●●○○○	●●●○○	●●●●●	●○○○○

319. táblázat Programok összehasonlítása (saját)

7. Konklúzió

A jelenlegi globális energetikai környezetet a szigorú energiaszabványok és az épületek jobb energiateljesítménye iránti növekvő igény jellemzi, ezt bizonyítják az EU 2030-as és 2050-es céljait összefoglaló határozatok is. Ez a sürgető igény rávilágít annak fontosságára, hogy az energiaelemző szoftvereszközök tanulmányozására és fejlesztésére összpontosítsunk. Napjainkban az energetikai elemzéshez alternatív szoftvermegoldások széles skálája létezik, amelyek különböző módszereket foglalnak magukban, mint például a parametrikus tervezés és a mesterséges intelligencia. A rendelkezésre álló programok bősége ellenére a szakirodalomban észrevehető hiányosság, hogy nincsenek olyan átfogó publikációk, amelyek e módszertanokon belül a hagyományos és az innovatív szoftvereszközöket egyaránt megemlítik. E dolgozatunk célja az volt, hogy kiemeljük az energetikai elemzés és módszertanainak kulcsfontosságú szerepét egy fenntartható jövő érdekében.

Elemzéseink során összehangoltan törekedtünk arra, hogy kiemeljük e szoftvereszközök használhatóságát, legjelentősebb előnyeit, illetve adott esetben potenciális hátrányait. Összefoglalva a dolgozatunk célja az volt, hogy a bemutatott programokat tapasztalati úton vizsgáljuk, ezzel bemutatva azt a leendő felhasználóknak.

Tapasztalataink szerint kimondhatjuk, hogy a dedikált szoftverek leginkább meglévő épületek tanúsítására alkalmasak, a tervező szoftverekbe beépített eszközök főként különböző verziók összehasonlítására alkalmasok, míg a parametrikus analízisek leginkább a korai, koncepciótervezési fázisban nyújthatnak segítséget. Bár az MI megoldások még kezdetlegesnek és korainak mondhatóak, de ezek az eszközök képesek lehetnek a korai fázistól végig kísérni a tervet, akár különböző optimalizációs folyamatokat készítve. Ugyanakkor a manuális adatbevitel lehetőségének köszönhetően alkalmasak lehetnek meglévő épületek tanúsítványainak elkészítéséhez. Mivel a világ egyre nagyobb energetikai kihívásokkal küzd, e sokféle eszköz ismerete és használata kulcsfontosságúvá válik a fenntartható és energiahatékony épített környezet megvalósításában. Továbbá fontosnak tartjuk, hogy mindig nyitottak legyünk az új és innovatív technológiákra és alkalmazzuk is ezeket, hiszen így garantált a fejlődés.

A tapasztalataink alapján azt látjuk, hogy a kutatás további lehetőségeket is tartalmaz. A dolgozat elkészítése mellett elkezdtünk egy kritikai elemzést egy esettanulmány keretein belül, amelyben

egy energetikailag úttörő épületet vizsgálunk a jelenleg is említett programokkal. Továbbá a kutatás folytatásaként szeretnénk bevonni több olyan alkalmazást is, amelynek a jövő fenntarthatóságát tekintve releváns potenciálja lehet. Az említett épületnek a komplex átfogó elemzését tűztük ki célul, hiszen ez az épület már meglévő energetikai jellemzőkkel rendelkezik. Ezzel az elemzéssel a jelenlegi kutatásban lévő és a további bevont programok egy meg inkább objektív elemzéssel lesznek értékelve, hiszen a már meglévő értékek egy kiinduló pontként szolgálnak.

Ezen felül a tapasztalataink alapján szeretnénk tovább kutatni a jelenleg is fejlődő szoftveralkalmazások piacát, illetve további kommunikációs csatornát létrehozni a mesterséges intelligencia fejlesztő vállalatok és magunk között, mivel a kutatásunk releváns tapasztalatokkal szolgálhat további fejlesztések elvégzésére.

Dolgozatunk zárásaként a különböző szoftverek használatából eredő tapasztalataikat és az azokból levont következtetéseket szeretnénk egy a jövőben kifejleszthető alkalmazás jellemzőiként összefoglalni. A számunkra felhasználóbarát munkafelület fontosnak bizonyult, hiszen az áttekinthetőséggel időt takaríthatunk meg és rendezettebben tudjuk kezelni beállításainkat. A szoftver ideális esetben rendszerezve kezelni tudja az EU-ban lévő szabványokat, de képes nemzetközileg elismert szabvánnyal is dolgozni. Ezen felül kiemelten fontos a szoftver modell alapú vizsgálati támogatása, illetve az ehhez kapcsolódó élő kapcsolat az alkalmazások között. Ez az élőkapcsolat fontos, hogy interaktív maradjon, így reagálva a mindkét szoftverben történő változtatásokra. Továbbá a 3D tervező szoftverben alkalmazott szerkezetek épületteljesítményi tulajdonságait képes legyen a kapcsolat kezelni és veszteség nélkül továbbítani az elemző alkalmazásba. A szoftverben az IFC (Industrial Foundation Classes) és IFD (Industrial Foundation Classes for Data) export és import is szükséges, hiszen a különböző szakmák együttműködéséhez és a különböző BIM (Building Information Modelling) munkafolyamatokhoz elengedhetetlenek ezek a kiterjesztések, hogy megfelelő fordító beállításokkal adatvesztés nélkül tudjuk kezelni a szükséges, hiszen a különböző szakmák együttműködéséhez és a különböző BIM (Továbbá a 3D tervező szoftverben alkalmazott szerkezetek épületteljesítményi tulajdonságait képes legyen a kapcsolat kezelni és veszteség nélkül továbbítani az elemző alkalmazásba. az épületet. Az alkalmazás, mindenképpen mesterséges intelligencia algoritmusokkal elemezzen, de az esetleges változtatható numerikus paraméterek számcsúszkával legyenek módosíthatóak. Itt fontos kiemelni, hogy ezek a tanuló

algoritmusok nehezen, de megfelelő mennyiségű elemzéssel a víziókban képesek lesznek a dedikált szoftverek által produkált eredményeket reprodukálni. Az optimalizációt mindenképpen integrálva tartalmazza, mind energetikailag, mind szerkezetileg és karbonsemlegesség szempontból is, ezeket mesterséges intelligenciával elemzi és javaslatokat tesz, amely javaslatokat elfogadva felülírhatjuk a modellt és az élőkapcsolat által a tervezőszoftverben is automatikusan végbemegy a módosítás. Végül a program legutolsó fontos aspektusa az exportálható formátum, itt kompatibilitási szempontból több programmal kommunikációt kell létesíteni, a tervező szoftverekhez szükséges fájlformátumok mindenképp szükségesek, illetve energy plus formátum esetleges validáláshoz. Az optimális program létrehozása természetesen nagyon messze áll még a mai módszertanoktól, illetve szoftverektől és évekbe fog telni a fejlesztés ebbe az irányba, de azt gondoljuk megfelelő ütemben halad a fejlődés. A szoftver létrehozásához szükséges programozói tudás meglehetősen komplex kell, hogy legyen és több olyan aspektus is megnehezíti a létrehozását, mint a több programmal való élő kommunikáció, a diverz exportálási formátumok és a mesterséges intelligenciával működő elemzési, illetve optimalizálási módszerek, amihez szintén szükséges tanulási idő. Mindent összefoglalva a tapasztalataink a fent leírt programot tartják legoptimálisabbnak, mint elemző szoftver, de évek fejlesztési és programozási, illetve tanulási folyamata, mire létrejöhet egy ilyen alkalmazás.

8. Irodalomjegyzék

7/2006. (V.24.) TNM rendelet . (n.d.). Retrieved 6 November 2023, from <https://njt.hu/jogszabaly/2006-7-20-6F>

76/2008. (VI. 30.) Korm. rendelet az épületek energetikai jellemzőinek tanúsításáról. (n.d.). Retrieved 6 November 2023, from <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0800176.kor>

Archsim (n.d.). Retrieved 6 November 2023, from <https://www.food4rhino.com/en/app/archsim-energy-modeling-gh>

Árpád, H., Dániel, H., & Tóth, O. (2022). *Parametrizált benapozásvizsgálat*. https://www.researchgate.net/publication/375230022_Tudomanyos_Diakkori_Konferencia_Parametrizalt_benapozasvizsgalat

As, I., Pal, S., & Basu, P. (2018). Artificial intelligence in architecture: Generating conceptual design via deep learning. *International Journal of Architectural Computing*, 16(4), 306–327. <https://doi.org/10.1177/1478077118800982>

Auricon Energetic. (2023, November 6). <https://energetic.auricon.hu/>

Autodesk Revit. (n.d.). Retrieved 6 November 2023, from <https://www.autodesk.hu/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>

Barlai Katalin. (2010). *Csillagászat és kultúra : közép-európai szemmel*. Konkoly Observatory. <http://real-eod.mtak.hu/2919/1/m7.pdf>

Belém, C., Santos, L., & Leitão, A. (2019). *On the Impact of Machine Learning Architecture without Architects?*

Caetano, I., Santos, L., & Leitão, A. (2020). Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design. In *Frontiers of Architectural Research* (Vol. 9, Issue 2, pp. 287–300). Higher Education Press Limited Company. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.12.008>

Cheng, S. G., & Hey, Y. W. (2022). *Applications of Artificial Intelligence Enabled Systems in Buildings for Optimised Sustainability Performance*.

Cheng, S. G., & Hey, Y. W. (2023). *Proceedings of the 27th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate*.

ClimateStudio. (n.d.). Retrieved 6 November 2023, from <https://www.solemma.com/climatestudio>

Cove.tool alkalmazási felület. (n.d.). Retrieved 6 November 2023, from <https://app.covetool.com/project/199455/change/>

Cove.tools. (n.d.). Retrieved 6 November 2023, from <https://cove.tools/>

Digital Blue Foam (n.d.). Retrieved 8 November 2023, from <https://www.digitalbluefoam.com/>

Energy Evaluation. (n.d.). Retrieved 6 November 2023, from https://help.graphisoft.com/ac/25/int/_ac25_help/110_EnergyEvaluation/110_EnergyEvaluation-1.htm

EnergyPlus. (n.d.). Retrieved 6 November 2023, from <https://energyplus.net/>

Farzaneh, H., Malehmirchegini, L., Bejan, A., Afolabi, T., Mulumba, A., & Daka, P. P. (2021). Artificial intelligence evolution in smart buildings for energy efficiency. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 2, pp. 1–26). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/app11020763>

forma-sustainability. (n.d.).

Ghobakhloo, M. (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 252). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119869>

Graphisoft ArchiCAD. (n.d.). Retrieved 6 November 2023, from <https://graphisoft.com/solutions/archicad>

Grasshopper. (n.d.). Retrieved 6 November 2023, from <https://www.grasshopper3d.com/>

Hydrashare. (n.d.). Retrieved 6 November 2023, from <https://hydrashare.github.io/hydra/index.html>

Ladybug. (n.d.). Retrieved 6 November 2023, from <https://www.ladybug.tools/>

MAGYAR SZABVÁNY MSZ EN 17037. (2018).

OTÉK. (n.d.). Retrieved 8 November 2023, from <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99700253.kor>

Rhino3D. (n.d.). Retrieved 6 November 2023, from <https://www.rhino3d.com/>

Roudsari, M. S., & Pak, M. (2013). *Ladybug: A parametric environmental plugin for grasshopper to help designers create an environmentally-conscious design*. <https://www.researchgate.net/publication/287778694>

Sidewalk Labs. (n.d.). Retrieved 8 November 2023, from <https://www.sidewalklabs.com/>

Spacemaker. (n.d.). Retrieved 8 November 2023, from <https://d3.harvard.edu/platform-digit/submission/spacemaker-merging-ai-technology-with-urban-planning-and-design/>

Tkeshelashvili, M. (2021). *BIM to BEM Development of integrated workflow from Archicad to Energy Evaluation*.

VIKRAMADITYA, S. B. (2023). *Artificial Intelligence based Workflow Framework for Architectural Design*.