

**BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
ÉPÜLETGÉPÉSZETI ÉS GÉPÉSZETI ELJÁRÁSTECHNIKA TANSZÉK**

**ERDŐS DÁVID
TDK DOLGOZAT**

**Nemzetközi épületminősítő rendszerek módszertanának alkalmazása
a hazai épületenergetikai tanúsításban**

Konzulens:
Fürtös Balázs
doktorandusz

Témavezető:
Dr. Horváth Miklós
egyetemi docens

Budapest, 2024.

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés.....	1
2. Szakirodalmi áttekintés	1
2.1. Épületminősítési rendszerek nemzetközi viszonylatban	1
2.2. Épületminősítési rendszerek Magyarországon.....	5
3. Épületszimulációs szoftverek alkalmazhatósága	9
4. A vizsgált épület.....	12
4.1. Épület bemutatása	13
4.2. Energiatanúsítás egyszerűsített módszerrel	15
5. Energiatanúsítás dinamikus szimulációval	18
5.1. Kiindulás	18
5.2. Tanúsítandó épület.....	20
5.3. Referenciaépület	28
6. Eredmények feldolgozása	32
6.1. Egyszerűsített energetikai számítás eredményei	32
6.2. Dinamikus szimuláció eredményei.....	33
6.3. Felmerülő problémák a tanúsítás során	37
6.4. A problémák megoldási javaslata	40
7. Módosított eredmények összehasonlítása, konklúzió	42
7.1. Az eredmények összehasonlítása	42
7.2. Konklúzió, adaptációs javaslatok	46
8. Összefoglalás.....	50
Irodalomjegyzék	52

1. BEVEZETÉS

A hazai épületenergetikai tanúsítás alapjaiban megváltozott a 9/2023. (V. 25.) ÉKM rendelet [1] bevezetésével, mely 2023. november 1-jén lépett hatályba. Az új számítási módszertan a korábbi szezonális számítás helyett havi bontást alkalmaz, mely az épületek energetikai jellemzőinek pontosabb becslését teszi lehetővé. Így az épületek energiahatékonysága is jobban feltekerképezhető, valamint a hatékonyságot növelő megoldások hatása is jobban bemutatatható. Ezzel az épületek energiafogyasztásának csökkentése szorgalmazható, az új, teljes életciklusra vonatkozó szén-dioxid kibocsátás követelményérték bevezetésével pedig a fenntarthatósági szempontok is jobban érvényesülhetnek.

Szintén a fenntarthatóságot, energiahatékonyságot hivatottak elősegíteni a nemzetközi épületminősítések, melyek a magyar gyakorlatnál nagyobb múlttal rendelkeznek. Ennek köszönhetően a hozzájuk kapcsolódó számítási módszertanok kiforrottabbak, sok esetben órai bontáson alapulnak. Ehhez egy praktikus, legtöbbször használt eszköz a dinamikus szimuláció, melyekről már az ÉKM rendelet is fogalmaz meg követelményeket. Használata a hazai energiata-núsításban azonban nem kötelező, így igen visszafogott a rá vonatkozó szabályozás. Dinamikus szimuláció használatával még pontosabb eredmények lennének kinyerhetők, velük ugyanis már a nap folyamán bekövetkező (épület szerinti) külső és belső oldali hatások is elemezhetők lennének. A napelemes rendszerek hasznosíthatósága is a nap folyamán változó villamosenergia termeléstől, valamint a szintén nap folyamán változó igényektől függ. Egy jól összehangolt rendszer tehát például a dekarbonizációs célok elérését is elősegítheti a nem megújuló forrásból származó primer energiafelhasználás csökkenésével, melynek elemzéséhez viszont mindenképpen havi bontásnál részletesebb számítási módszer szükséges.

Fontos vizsgálati cél tehát, hogy a már létező nemzetközi dinamikus szimulációs gyakorlat alkalmazhatósága a hazai épületenergetikai tanúsításban milyen módszertani és technikai eszközökkel lenne megtehető. Ehhez célszerű az épületminősítési rendszerek elemzését elvégezni először nemzetközi, majd pedig magyarországi vonatkozásban, illetve az azokhoz tartozó számítási módszertan (szabvány) alapján egy alkalmas választást tenni. A számítási módszertan esetén célszerű az ÉKM rendelet által is használt referenciaépület-módszeren alapuló metodika kiválasztása. Ehhez rögtön egy optimális épületszimulációs szoftver párosítása a következő cél, mely például a már létező nemzetközi gyakorlat miatt beépített funkciókkal egyszerűsíthetné a tanúsítási folyamatot. Végül pedig egy összetett gyakorlati példa segítségével már könnyen levonhatók következtetések az adaptálhatóságra vonatkozóan.

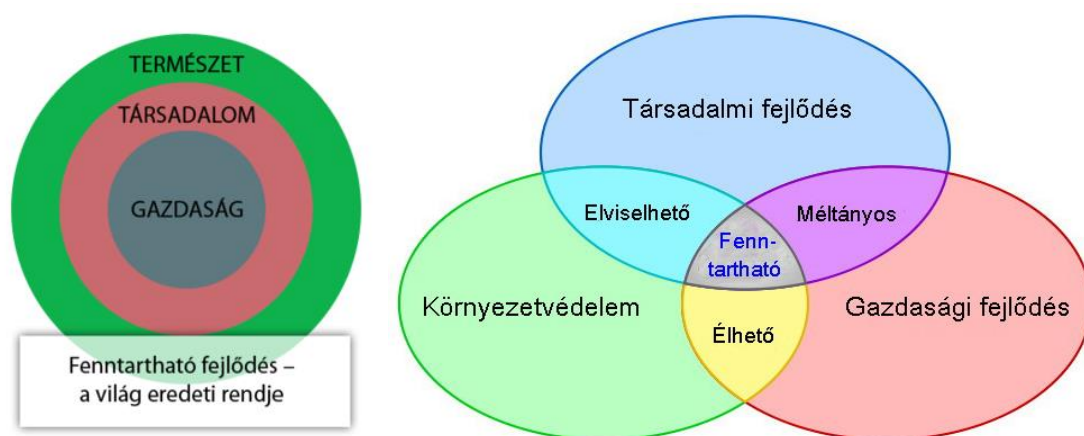
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. Épületminősítési rendszerek nemzetközi viszonylatban

A globális energiafelhasználás növekedése egyre gyakrabban felmerülő problémakör társadalmunkban, s az előrejelzések is igen baljósnak tekinthetők, miszerint további növekedés várható [2]. Ez a különböző gazdasági nehézségeken túl környezeti problémákat is felvet, így mindenképp fontos feltárni a legfőbb felelősöket. Az EUROSTAT adatai alapján elmondható, hogy az épített környezet energiafelhasználása teszi ki a teljes energiafelhasználás több, mint 40%-át, így tehát mindenképp nagy figyelmet érdemes fordítani ezen szektorra [3]. Az energián kívül az épületállomány, azaz építőipar felel a nyersanyagok és kibocsátások nagy hányadáért is (például a szén-dioxid kibocsátás közel 40%-áért) [4], azaz igen fontos szereppel bír a klímaváltozásban is. Ezért kiemelten fontos az energiahatékonyság előmozdítása, valamint a fenntarthatóságra törekvés előtérbe helyezése a szektorban.

A téma további taglalása előtt azonban fontos definiálni magát a kiindulási alapfogalmat, azaz meghatározni, mit is jelent a fenntarthatóság, fenntartható fejlődés. Ennek definiálása az Egyesült Nemzetek Szervezetéhez (ENSZ) köthető: „A fenntartható fejlődés olyan fejlődési folyamat, ami kielégíti a jelen szükségleteit anélkül, hogy csökkentené a jövő generációk képességét, hogy kielégítsék a saját szükségleteiket.” [5]

A fenntarthatóság alappillérei pedig két szemlélet alapján is meghatározásra kerültek. A hagyományos szemlélet alapján a három alappillér a környezetvédelem, a társadalmi fejlődés és a gazdasági fejlődés. Ezzel szemben az újabb szemlélet szerint a természet halmazán belül található a társadalom részhalmaza, azon is belül pedig a gazdaságé. Ezen utóbbi szemlélet a világ eredeti rendjének modellje. Fenntarthatóságra törekvés esetén az alapot az igények csökkentése jelenti, erre épít sorrendben a hatékonyságnövelés, majd a fenntartható és a flexibilis ellátás [6]. A két szemlélet az 1. ábrán kerül szemléltetésre [6].

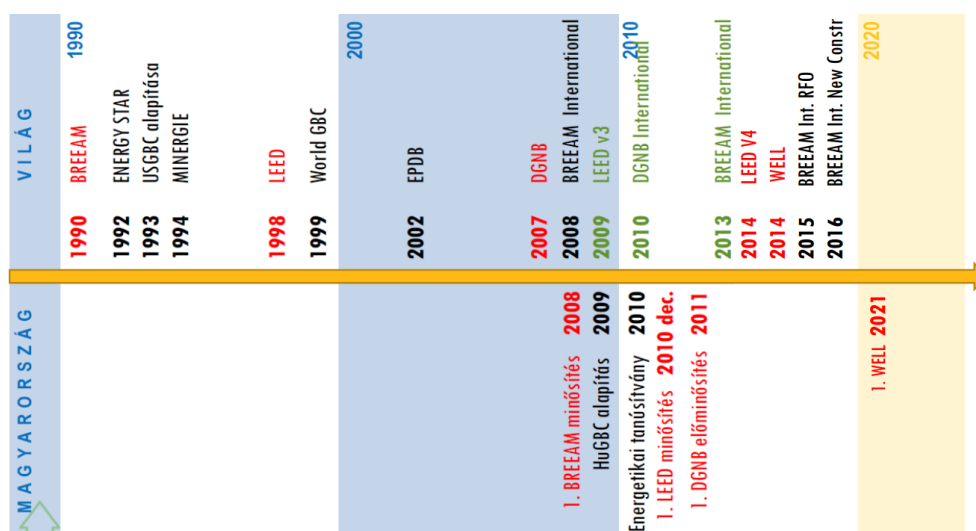


1. ábra A fenntarthatóság alappillérei a hagyományos (balra) és a kortárs (jobbra) szemlélet alapján [6]

A fogalmi tisztázás után rátérek a gyakorlati szempontokra is. Az ENSZ által 2015-ben kitűzött 17 Fenntartható Fejlődési Cél közül rögtön kilenc kapcsolatba is hozható az épített környezettel [7]. A fenntartható, környezettudatos tervezésen kívül a megfelelő kivitelezés és üzemeltetés is alapvető feladat lenne, azonban sajnos ezen utóbbi két tényező megvalósulása igen gyakran elmarad, így a jó tervek maradéktalan gyakorlati megvalósítása ritkának mondható. Fontos továbbá kiemelni, hogy a környezettudatosság elérése csakis szektorok közötti összefogással lehetséges, azaz a beruházók, bérlők, különböző szakágak tervezői, kivitelezői, gazdasági szakemberek együttműködésére van szükség [8]. A fenntarthatósági szempontok érvényesítéséhez, az épített környezetnek a természeti környezetre való negatív hatásainak csökkentéséhez mindenképp célszerű tehát valamilyen támpont vagy keretrendszer alkalmazása. Ennek fontosságát külföldön, többek között az Amerikai Egyesült Államokban már az 1980-as, 1990-es években felismerte néhány előrelátó szakmabeli [9].

A fent említett keretrendszerek a ma már világszerte elterjedt, elfogadott különböző épületminősítési rendszerek lettek, melyek közül az első generációs rendszerek az 1980-as évek végén és 1990-es évek elején kaptak megalapozást. Ez a zöld termék szabványok megjelenését, illetve leginkább a különböző minősítési rendszerek szakmai szervezeteinek megalakulását jelentette [10]. Ezek általában nem állami szervezetek, hanem nemzeti Green Building Council szervezetek, esetleg független intézetek vagy magáncégek. Ilyen szervezet például az 1993-ban létrehozott U.S. Green Building Council (USGBC, magyarul Egyesült Államok Zöld Építési Tanácsa) is, mely a LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) minősítés, a világ egyik

legelterjedtebb épületminősítő rendszere mögött álló szervezet. A legelső lépés megtétele azonban a Building Research Establishment (BRE) nevű szervezethez köthető 1988-ban, mikor a BREEAM (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method) épületminősítési rendszer létrehozásának előkészítését kezdték el. Ezen utóbbi rendszer megjelenése volt tehát az első, mely 1990-re datálható [11]. A kezdeti fázisba sorolható még az Energy Star és a Minergie minősítések létrehozása az 1990-es évek első felében, valamint az alapító szervezetének létrehozása után 5 évvel megjelent LEED is, illetve a World GBC is. Ezen rendszerek eleinte csak az adott kiadó országban voltak elérhetők, így például a ma szinte minden országban használt LEED és BREEAM rendszerek eleinte csupán rendre az Amerikai Egyesült Államokban és az Egyesült Királyságban voltak jelen. Később azonban több országban is elkezdtek megjelenni fejlődésükkel, így Észak-Amerikában elterjedt a LEED, míg Európán belül a BREEAM hódított magának teret [12].



2. ábra Az épületminősítő rendszerek elterjedésének folyamata [13]

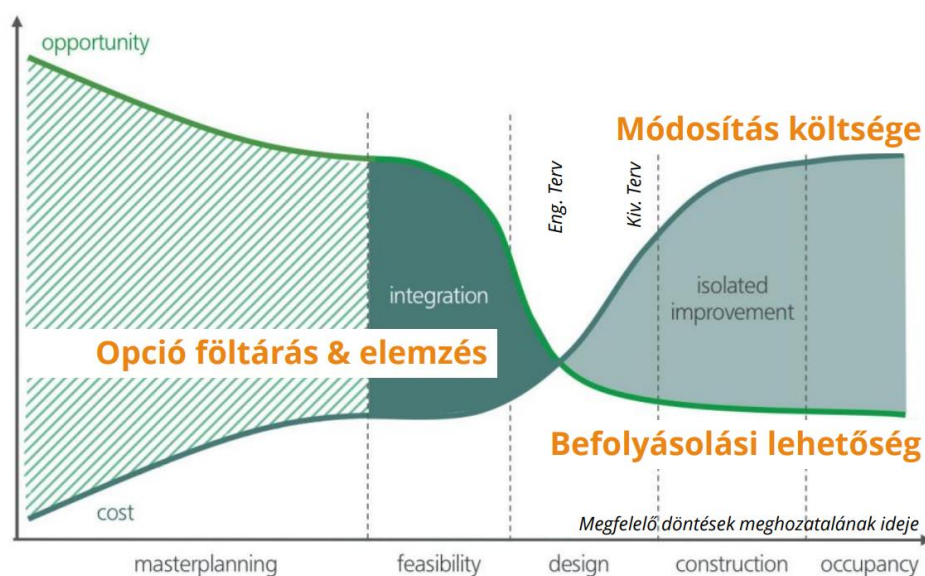
Ezen legtöbbször használt minősítések mellett további rendszerek megjelenése is elkezdődött, némely ország saját rendszert létrehozva magának. Erre jó példa a német eredetű DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen) vagy akár a francia HQE, melyek szintén terjedni kezdtek Európa szerte. A fentiek alapján Magyarországon is a BREEAM rendszer vált a leghasználtabbá, azonban a LEED minősítés is sok projekt esetén képviselteti magát, erről azonban bővebben később ejtek szót [14].

A világszerte bevett szokással használt zöld épületminősítés ma már több száz különböző minősítési rendszerrel lehetséges [15], a Sustainable Investment Group (SIG) által készített rangsorolás szerint például tizenkét rendszert emelt ki. Ezek az alábbiak: LEED, WELL, Fitwel, Green Globes, BREEAM, DGNB, Green Star, BCA Green Mark Scheme, BEAM PLUS, CAS-BEE, GORD és a Miljöbyggnad. Ezek természetesen egymástól elkülönülő, eltérő minősítések, azokban sok közös vonás fedezhető fel [16].

A fenntarthatóságot célzó rendszerek esetén gyakran témakörök szerinti bontásban, azon belül is különböző szempontoknak lehet, illetve szükséges az épületnek megfelelnie. Ezek lehetnek előkövetelmények, illetve pontszám is kapható teljesítésükért, melyeket egyes esetekben opcionálisan választható kreditek alapján lehet megszerezni. Más minősítések előíró megközelítést alkalmaznak, illetve léteznek teljesítményalapú követelményrendszerek is, melyeknél különböző módon teljesíthetők a követelmények projekt típustól függően. A témakörök kitérhet-

nek energiafelhasználásra, vízfogyasztásra, építőanyagokra, menedzsmentre, különböző komfort paraméterekre és akár közlekedési szempontokra is. Minden rendszernek megvan a saját pontrendszere és minősítési kategóriái, azonban mindegyik az épület környezetre való hatásának javítását, továbbá a fenntarthatóság elősegítését szorgalmazza. A minősítés egyik alapfeladata annak igazolása, hogy az épület megfelel ezen szempontoknak. Az SIG rangsorolása [16]szerinti felsorolás is igazolja, hogy a sok önkéntesen választható minősítés között el lehetne veszni, azonban a rendszerek sajátosságai alapján könnyen eldönthető, hogy melyik illeszkedik leginkább a kívánt célhoz. Ezzel a tanúsítási rendszer a lehető legjobban hozzájárulhat ahhoz, amit a felhasználó el szeretne érni. Bizonyos minősítéseket időközönként meg kell újítani, melyre a megfelelő motiváció lehet az épület megfelelő használatához, üzemeltetéséhez is [17,18].

További közös jellemző a minősítési folyamat sorrendiségében lehet a fel, például célszerű minél hamarabb, már előzetesen bevonni a tanúsító szakembereket, illetve egyéb szakértőket (építészek, épületgépészek, elektromos szakemberek, tájépítészek, akusztikai szakértők, konyhatechnológusok, energia és nappali megvilágítás elemzők, környezetvédelmi szakértők, ökológusok, akadálymentes tervezők stb.). Ennek oka, hogy több olyan követelmény is elő szokott fordulni, melyek a korai szakaszokban (tervezés, kivitelezés) könnyen teljesíthetők, utólag pedig már nem, vagy csak jelentős többletköltséggel. Azaz általánosságban levonható következtetés, hogy minél hamarabb döntenek a minősítés alkalmazásáról, annál több lehetőség marad annak teljesítésére, ráadásul annál kevesebb pénzből lehet ezeket megoldani. Ez látható az ABUD által készített lenti ábrán [19] is (3. ábra).



3. ábra „Fenntarthatósági döntések hatékonysága” [19]

Általában a komplett előkészítési, tervezési, kivitelezési, illetve üzembehelyezési folyamatot kíséri a tanúsítási folyamat. A minősítés lépései általánosan a fenntarthatósági stratégia megalkotásával kezdődnek, melyet a követelményeknek megfelelő tervezés, kivitelezés követ. Az igazoló dokumentumok összegyűjtése is kötelező feladat, melyet a minősítő ellenőriz. A dokumentációnak tartalmi és formai szabályai lehetnek, érthető szövegezésűnek kell lennie. Ritkán előfordul helyszíni ellenőrzés is. Ezt követően a minősítőszerv részéről megtörténik a külső, független harmadik fél általi értékelés, mely után hiánypótlás lehetséges. Ezt követően kerül kiállításra a tanúsítvány megfelelés esetén. Ez a sorrendiség, a minősítés folyamata attól is függhet, hogy milyen típusú épületet, épületrészt minősítenek. Ez elvégezhető például új épü-

letekre – melyeket sokszor két fázisban minősítenek (elő- és utóminősítés). Értelmezhető a tanúsítás továbbá meglévő épületekre, épületegyüttesekre, belső terekre, külön magára az épületszerkezetre, illetve felújítások esetén is alkalmazhatók. Általában kereskedelmi épületeket, (bérbeadásra szánt) irodaépületeket, raktár és egyéb ipari épületeket minősítenek, a lakóépületek részaránya igen csekélynek mondható. Ez azonban jelentősen eltérhet az egyes minősítési rendszereknél, így ezen szempont részletesen később (az egyes rendszerek bemutatásánál) kerül kifejtésre [18,20].

A minősítő rendszerek folyamatosan változnak, ezen változtatások sokszor a felhasználói visszajelzésekből, illetve különböző kritikákból erednek. Jó példa erre a várhatóan 2025-ben életbelépő LEED v5, mely a LEED minősítés sokadik finomított verziója lesz [21]. Azonban nemcsak a LEED-nél lesz változás, várhatóan több minősítés esetén is szigorodnak a követelmények. A BREEAM esetén például több minimumkövetelménynek kell majd megfelelni, az új követelmények miatt pedig valószínűleg nehezebb lesz elérni a minősítés magasabb fokozatait [22].

Önkéntes tanúsítói rendszerek alkalmazásának több előnye is kiemelhető. Környezeti szempontok közül először is csökkenhet üvegházhatású gázok kibocsátása csakúgy, mint energiafelhasználás [10]. Ezáltal csökken a környezeti lábnyom és az üzemeltetési költség, mely utóbbi már gazdasági szempont. Ezáltal értékesebb lesz az ingatlan (egyres kutatások szerint akár 20%-kal drágábban kelhetnek el), javulhat a PR (emberi kapcsolatok menedzsmentje) megítélés. Egyfajta elismerésként, összehasonlítási alapként szolgál az épületnek a minősítés elvégzése és megszerzése. Bérlet esetén várhatóan nőhet az elkérhető bérleti díj, illetve a bérlők alkalmazottjainak jó irodai komfortja javíthat a munkateljesítményen is. Alkalmazása gyakran befektetői vagy bérlői elvárás, sokszor a jövőbeli várható piaci igények miatti [23].

2.2. Épületminősítési rendszerek Magyarországon

A Magyarországon használatos tanúsítási, minősítési rendszereket célszerű mindenekelőtt egy jogrendszer szerinti hierarchikus szemléletből tekinteni. Ezen megközelítés alapján napjainkban a legfelső, jogszabályi szinten a 9/2023. (V. 25.) ÉKM rendelet áll, mely a nemzeti energiatanúsítás számítási módszerét szolgáltatja [1]. Az Építési és Közlekedési Minisztérium által kiadott miniszteri rendelet normatív jellegű, azaz kötelező erejű és általánosan alkalmazandó, elődje pedig a 2023. október 31-ig hatályos 7/2006 (V. 24.) TNM rendelet volt [24]. A 176/2008. (VI. 30.) Kormányrendelet [25] a magyarországi energiatanúsítás eljárását, szabályait határozza meg, kitér a tanúsítványok formai követelményeire és meghatározza az energetikai minősítési osztályokat. Kormányrendelet lévén szintén kötelező erejű használata.

A második, eggyel alacsonyabb hierarchiai szinten állnak a szabványok, melyek lehetnek például nemzeti szabványok (MSZ), nemzetközi szabványt bevezető magyar szabványok (MSZ ISO), valamint akár európai szabványt bevezető magyar szabványok is (MSZ EN). Ilyen például az MSZ EN 16798-1 szabvány [26], melyre a fent említett ÉKM rendelet hivatkozik is, mint ajánlás vagy akár mint kötelező elem.

A korábban említett, Magyarországon is megjelent önkéntes épületminősítések is szabványokon alapszanak, azonban maga a minősítés nem kötelező erejű. Esetükben különböző épület szabványok kerülnek általában alkalmazásra. Az ilyen – építési gyakorlatokhoz kapcsolódó – szabványokat szakmai szervezetek, egyesületek hozzák létre, a LEED esetén például az American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, azaz ASHRAE. A zöld épületminősítések tekintetében fontos megkülönböztetni, hogy egy szabvány követelményei vagy előíró jellegűek – a megvalósítási módszereket meghatározva -, vagy teljesítményalapúak, ekkor a végcél meghatározása történik. Ezen utóbbi egy rugalmasabb hozzáállást biztosít a megfeleléshez, hiszen több lehetséges módszer, megközelítés is alkalmazható [27].

Fő szerepet kap az is, hogy melyik országban fejlesztették ki az adott épületminősítési rendszert, ugyanis általában az adott térségben használatos szabványokra építve hozták ezeket létre. Az Amerikai Egyesült Államokban például ahogy említettem az ANSI/ASHRAE/IESNA szabványkör az alapja a minősítésnek, a LEED minősítés folyamán ezen szabvány különböző pontjai a fő mérvadók. Ezzel szemben Európán belül gyakran az EN szabványokkal találkozhatunk – a BREEAM például az európai szabványrendszerre épül, a német DGNB pedig többek között a DIN szabványokra is hivatkozik. Ha a minősítéseket az „anyaországuktól” eltérő országokban szeretné egy projekt alkalmazni, akkor némi könnyítést biztosít, hogy ilyenkor más, helyi szabványok használata is megengedett sok esetben.

A harmadik, még alacsonyabb hierarchiai szinten az irányelvek kaptak helyet. Az irányelv szakmai szövetségek által kidolgozott műszaki dokumentum, mely a megrendelők, tervezők és kivitelezők munkáját hivatott segíteni. Irányelv volt például az uniós, épületek energiateljesítményéről szóló 2002/91/EK irányelv [28], mely a nemzeti energetikai tanúsítványok bevezetését írta elő, azonban már nem hatályos. Ezen irányelvnek volt köszönhető a fent említett 7/2006 TNM rendelet bevezetése is Magyarországon. További, a nemzeti energiatanúsítást befolyásoló irányelvek az EPBD irányelvek (Energy Performance of Buildings Directive), azaz például Az Európai Parlament És A Tanács (EU) 2024/1275 Irányelve [29], mely az épületek energiahatékonyságáról szól. Az EPBD irányelvekben írták elő a közel nulla energiaigényű épületekre vonatkozó törekvéseket is.

Az épületminősítésekre visszatérve, az élvonalbeli országok gyakorlatát – Amerikai Egyesült Államok, Egyesült Királyság – a magyar építőipar némi késéssel követte le. A fenntarthatóságot is figyelembe vevő zöld épületminősítések megjelenése a 2008-as évhez köthető, amikor megjelent országunkban a BREEAM minősítés. Magyarországon tehát a felelős szervezet megalapítása később történt meg, ez 2009-re datálható. Ezen szervezet a Magyar Környezettudatos Építés Egyesülete (HuGBC), amely a fenntartható építési gyakorlatok elterjedését szorgalmazza hazánkban. Nevükhöz fűződik a Minősített Magyar Épületek Adatbázis nyilvántartása, mely tartalmazza a Magyarországon minősített épületeket és minősítésük részleteit. A hazánkban használt minősítések között némileg kilóg a sorból a WELL minősítés, mely az emberi jólétre helyezi a hangsúlyt [30]. A további három minősítés viszont kifejezetten a fenntarthatóság szempontjain alapszik, ezek a már említett BREEAM, LEED és DGNB minősítések [13]. A következőkben ezen három a minősítőrendszerre térek ki alaposabban. Az **1. táblázat** ezen épületminősítések főbb jellemzőit mutatja be.

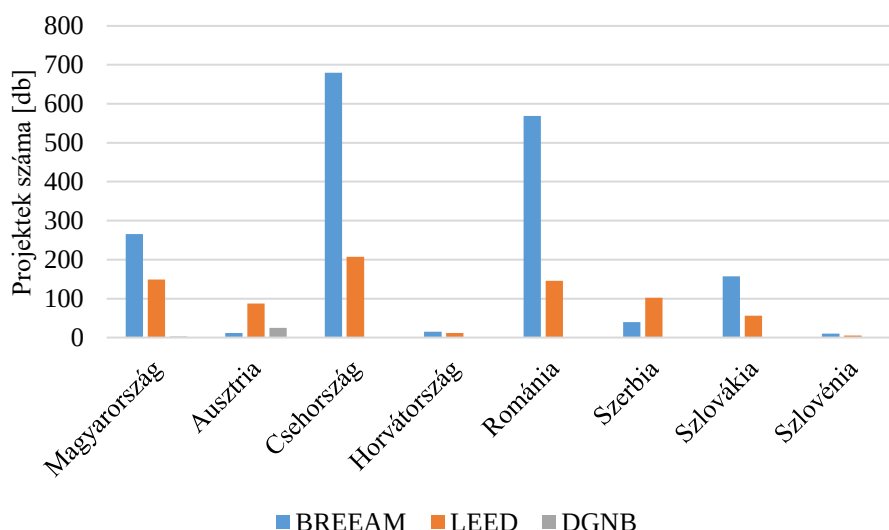
1. táblázat A három legismertebb fenntarthatóságon alapuló minősítési rendszer Magyarországon [17,18,20]

	BREEAM	LEED	DGNB
Az értékelés során figyelembe vett főbb szempontok	Menedzsment Egészség és jó környezet Energia Közlekedés Víz Anyaghasználat Hulladék Területhasználat és ökológia Szennyezés Innováció	Integratív tervezési folyamat Helyszín és közlekedés Fenntartható helyszín Vízhasználat hatékonysága Energia és légkör Anyagok és erőforrások Belső környezet minősége Innováció Regionális prioritás	Ökológiai minőség Gazdaságosság Szocio-kulturális minőség Az eljárás minősége Helyszín használata
Épülettípusok, vagy tevékenységek, amelyekre alkalmazhatók	Új épület Bővítés Meglévő épület Jelentős felújítás Tartószerkezet és külső határoló szerkezetek	Új épület Bővítés Meglévő épület Jelentős felújítás Tartószerkezet és külső határoló szerkezetek	Új épület Meglévő épület Korszerűsítés

Minősítési kategóriák	Osztályozás nélkül (Besorolási nélküli vagy Elfogadható) Megfelelt Jó, Nagyon jó Kiváló Kiemelkedő	Minősített Ezüst Arany Platina	Bronz Ezüst Arany Platina (Gyémánt)
Nemzetközi minősítésre alkalmas változatok	Iroda Kereskedelmi Ipari Speciális alkalmazású épület Meglévő épületre (BREEAM-In-Use) Egyedi (Bespoke)	Iroda Kereskedelmi létesítmény belső kialakítás LEED ND Meglévő épületre (LEED Existing Building)	Iroda Kereskedelem Ipari Speciális alkalmazás
A minősítési eljárás nehézsége, összetettsége	Közepes –	Közepes	Komplex

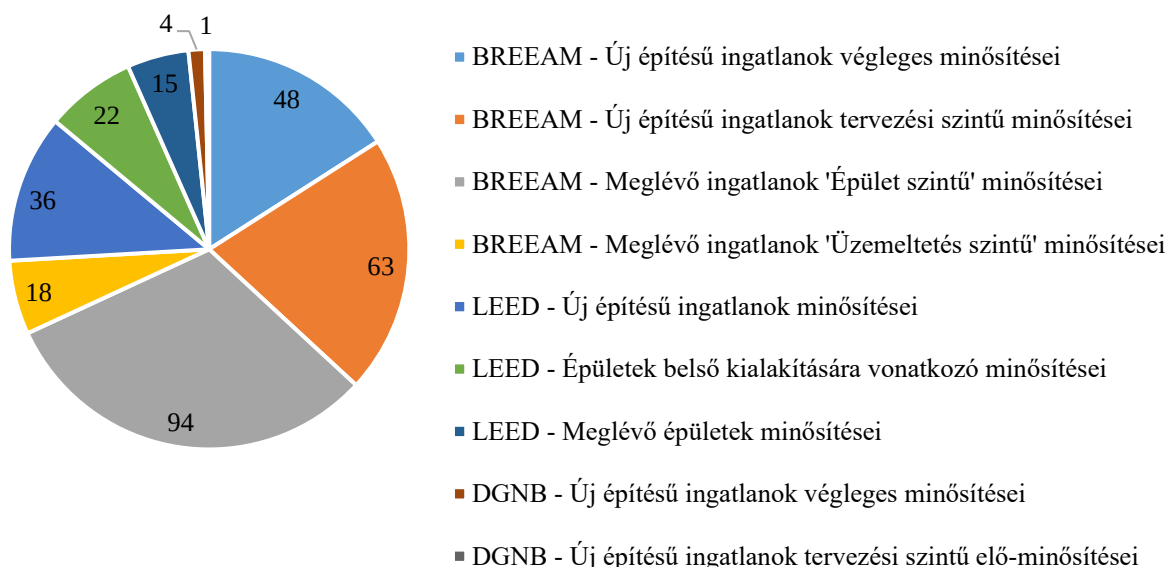
Magyarországon a legismertebb és legtöbbet használt minősítés a BREEAM, azonban a LEED is igen széleskörben ismert. Az értékelés során figyelembe vett szempontok, illetve leginkább az alkalmazási céljaik (épülettípusok, tevékenységek) igen hasonlóak. Ezen két fenntartható minősítésen kívül a DGNB használata is előfordult néhány projekt esetében, mely Németországból utat törve magának kezdett el terjedni a környező országokban az utóbbi években. Ezen minősítés valamelyest komplexebb, illetve más szabványokra is épül [20].

A Magyarországon használt három főbb minősítési rendszer jelenléte itthon, illetve a környező országokban jelentős eltéréseket mutat. Csehországban és Romániában tekintélyes számú minősítés készült, leginkább a BREEAM minősítésből van sok. Ausztriában és Szerbiában azonban a LEED minősítésből van a legtöbb, Magyarország pedig összesítésben a harmadik helyen szerepel a környező országokat tekintve. Horvátország és Szlovénia esetében pedig alig pár minősítésről beszélhetünk csupán. Az ezekben az országokban folyamatban levő, vagy már meglévő BREEAM, LEED és DGNB minősítések összehasonlítása a **4. ábrán** látható.



4. ábra Magyarországon és a környező országokban folyamatban levő vagy már meglévő BREEAM, LEED és DGNB projektek száma [17,18,20]

Az önkéntes épületminősítések hazánkban egyelőre nem teljes körben elterjedtek, azonban az ipari szereplők érdeklődése is mutatja, hogy várhatóan tovább fog növekedni az igény irántuk. A jelenlegi helyzetről azonban jó információt szolgáltat az **5. ábrán** látható összefoglaló diagram, mely a három vizsgált épületminősítésről, illetve azok használati céljairól készült.



5. ábra Épületminősítések megoszlása Magyarországon – megvalósult projektek száma [31]

Magyarországon általánosságban a magasépítésben képviseltetik magukat a zöld épületminősítések, leginkább irodaépületeket vagy bevásárlóközpontokat minősítenek velük - más országokban már gyakori esetnek mondható infrastrukturális és várostervezési projektek minősítése is.

A fenti diagramok, elemzések után látható, hogy a különböző önkéntes épületminősítő rendszerek különböző elterjedtségűek, más-más projektnél alkalmazzák őket. Ez – ahogyan már korábban is említettem – jelentősen függhet az egyes minősítések sajátosságaitól, pontos céljaitól, előírásaitól, hiszen a projektek más-más követelményeknek és céloknak tudnak vagy szeretnének megfelelni.

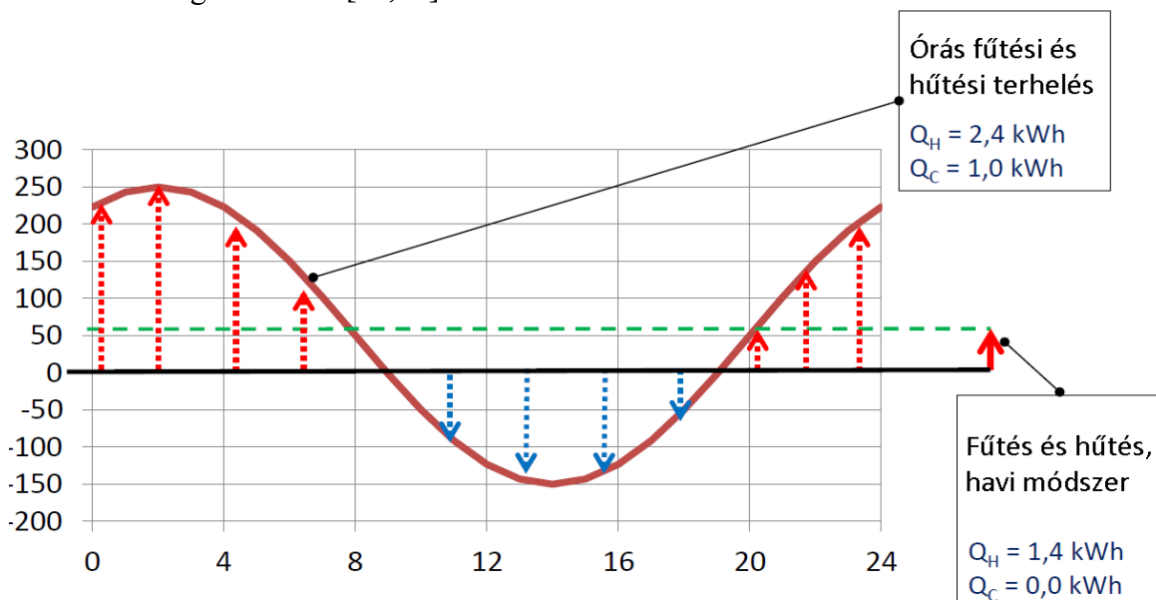
Az irodalomkutatás alapján összességében elmondható, hogy számos lehetőség adott a dolgozat fő céljának megvalósításához. Azaz a nemzetközi épületminősítési rendszerek energetikai teljesítményét értékelő témák módszertanának alkalmazására a hazai energiatanúsításban igen sok minősítési rendszer áll rendelkezésre nemzetközi szinten, a Magyarországon jelenleg is használtak alapján viszont már lényegesen kevesebb opció kínálkozik [32]. Az **5. ábra** alapján Magyarországon ugyan nem a LEED a legelterjedtebb épületminősítés (hanem a BREEAM), azonban vizsgálatomhoz ezen minősítés alkalmazása a kézenfekvő. Ugyanis a LEED esetén a más minősítéseknel alkalmazott energiafogyasztás mérése helyett dinamikus szimuláció használatával is lehetséges a megfelelőség bizonyítása, melynek alapja az ASHRAE 90.1 szabvány. Dinamikus szimulációval pedig a jelenlegi havi bontáson alapuló tanúsítás órás bontás szerint végezhető, mely bontás használatára például az EPBD irányelvek is kötelezhetnek majd a nem túl távoli jövőben. Az ASHRAE 90.1 (annak is a G függeléke) a dinamikus szimulációs módszertant egyik legalaposabban szabályozó szabvány, melyből számos eljárás,

módszer adaptálható. A továbbiakban az épületminősítéseknél alkalmazható dinamikus szimulációs szoftverek feltérképezésével folytatom vizsgálatomat. Ezen kutatás során a gyakorlatban is leginkább alkalmazható szoftver kiválasztása a fő szempont.

3. ÉPÜLETSZIMULÁCIÓS SZOFTVEREK ALKALMAZHATÓSÁGA

Az energetikai szimulációs programok eredete még az 1960-as évekhez köthető. A hidegháború idején, 1962-ben kezdték el fejleszteni a NATEOUS szoftvert, mellyel még katonai bunkerek talajjal határos szerkezeteinek hőtechnikai számításait végezték. Napjainkban már számos eszköz, szoftver létezik, melyekkel az épületek teljesítményét értékelhetjük és akár az önkéntes épületminősítések bizonyos szempontjai szerinti eredményeit meghatározhatjuk [33]. Ezek az angol szakirodalomban BPS, azaz Building Performance Simulation szoftverként említett eszközök, magyarra lefordítva Épület Teljesítmény Szimuláció szoftverek [34]. A magyar gyakorlatban a dinamikus (épületenergetikai) szimuláció a bevett elnevezés, melyet a 9/2023. EKM rendelet is említ, illetve definiál. A rendelet szövege szerint a dinamikus szimuláció az épület és az épülettechnikai rendszer időben változó viselkedésének modellezésére alkalmas számítógépes modellezési eljárás, mely képes figyelembe venni a dinamikusan változó külső és belső (igény oldali) hatásokat. A dinamikus hatások figyelembevételével pontosabb eredményeket kaphatunk például az épület energiafelhasználásáról, ahogyan ezt az **6. ábra** is jól szemlélteti.

Az ábrán megfigyelhető, hogy ha átlagértékekkel számolnánk a részletesebb órás fűtési és hűtési hőterhelések helyett, akkor hűtési igény nem is lépne fel az épületben a vizsgált időszakban, csupán egy alacsonyabb átlagos fűtési igény. Az egyszerűsített számítások esetén egy éves, vagy esetleg havi bontású mérleget kapunk eredményként, mely nem képes figyelembe venni a napelemmel termelt villamosenergia felhasznált és hálózatra visszatáplált hányadát sem. Ez dinamikus szimuláció használatával megtehető, mellyel szintén a már említett dekarbonizációs célok elérése szorgalmazható [35,36].



6. ábra Épületeknél jelentkező dinamikus hatások [37]

A dinamikus szimuláció tehát természetesen nem az egyetlen módja az épületenergetikai számításoknak, azonban ezen módszerrel kapjuk a legrészletesebb eredményeket (melyek részle-

tessége és pontossága természetesen a bemenő adatok függvénye). Szimulációk elvégzése helyett lehetséges szezonális számítási mód is, például a már nem hatályos 7/2006 TNM rendelet szerinti számítás. Emellett léteznek havi módszerek is, például a 9/2023 ÉKM rendelet is ilyen, továbbá órai módszerek is. A dinamikus szimuláció a kezdetekben csak kutatási célú felhasználás helyett ma már a korai tervezési fázisban használatos leginkább.

Az épületszimulációs szoftverek többféleképpen csoportosíthatók. Léteznek úgynevezett BES, azaz Building Energy Simulation szoftverek is, ezeknek kifejezetten az épületek energiafelhasználásának meghatározása a célja [38]. A szoftvereket lehetséges tehát felhasználni, azaz modellezési cél alapján is megkülönböztetni. Egy fontosabb csoportosítási szempont azonban, hogy az adott szoftver különálló eszköz, vagy más szoftverhez tartozó plugin, azaz bővítmény. A másik fontos szempont, hogy a szoftver saját számítási motorral működik-e, vagy külső motort használ a szimulációhoz. Ezek alapján, illetve alkalmazhatóságuk alapján az alábbi három táblázatban látható néhány közismert szimulációs szoftver csoportosítása [39].

2. Táblázat Saját és külső motorral működő BPS szoftverek [39]

BPS szoftver saját motorral	BPS szoftver külső motorral			
TRACE HEED Be10 Bsim EPC ESP-R IDA-ICE	Szoftver	Energia szimuláció	Tervezési döntéshozatal támogatása	Leírás
DOE-2	eQuest Risuska Green Building Studio EE4 CODE/CBIP	igen igen igen igen	- igen - -	Minden csoportnak minden szakaszban Parametrikus elemzés Felhőben futtatás Kanadai kereskedelmi és intézményi épületekre
TRNSYS	TRANSOL	-	igen	Napkollektoros rendszerek tervezése és optimalizálása
EnergyPlus	DesignBuilder Sefaira Virtual Design Studio ZEBO BEopt jEPlus N++ EFEN AECOSim Energy Simulator Hevacomp Simulator V8i gEnergy Simergy FineGREEN	igen igen igen igen - igen igen - igen igen igen igen igen igen	igen igen igen igen igen igen - igen - - - - - -	Parametrikus elemzés és optimalizáció Parametrikus elemzés, optimalizáció és felhőben futtatás Optimalizáció Parametrikus elemzés Optimalizáció Parametrikus elemzés, optimalizáció és felhőben futtatás Légtechnikai rendszerek energiafogyasztás és költség elemzése, parametrikus elemzés Épület teljesítmény szimuláció Energia elemzés, hőkomfort, költség, szén kibocsátás Felhő alapú BIM platform Gyors modellezés és átfogó energia elemzés támogatása BIM szimulációs platform

3. Táblázat Önálló BPS szoftverek és bővítmények [39]

Szoftver	Tervező-szoftver	Szimulációs motor
Bővítmény	OpenStudio	SketchUp
	HTB2	SketchUp
	Sefaira	SketchUp Revit
	IES VE	önmaga Revit SketchUp
	Green Building Studio	Revit
	Honeybee and Ladybug (Grasshopper)	Rhino
	IECbear (Grasshopper)	Rhino
		E+ Radiance
		saját
		E+
		saját
		DOE2
		E+/OpenStudio Radiance/DAYSIM
		Viper DIVA

Önálló szoftver	DesignBuilder	önmaga	E+
	jEPlus (jESS)	önmaga	E+
	N++	önmaga	E+
	Virtual Design Studio	önmaga	E+
	ZEB0	nincs	E+
	Riuska	önmaga	DOE2
	iDbuild	önmaga	BC/ LC
	NewFacades	szöveges	E+
	mkSchedule	SketchUp	E+ Radiance
	MIT advisor	szöveges	saját

4. Táblázat BPS szoftverek alkalmazhatósága [39]

Szoftver	Szimulációs eredmények					
	Energia	Hőszükséglet/hőterhelés	Benapozás	Levegőminőség	Életciklus költség	Szén kibocsátás
OpenStudio	igen	igen	igen	igen	igen	-
HTB2	igen	-	-	-	-	igen
Sefaira	igen	igen	igen	-	-	-
IES VE	igen	igen	igen	igen	igen	-
Green Building Studio	igen	-	igen	-	-	igen
Honeybee and Ladybug (Grasshopper)	igen	igen	igen	-	-	-
IECbear (Grasshopper)	igen	igen	igen	-	-	-
DesignBuilder	igen	igen	igen	igen	igen	igen
jEPlus (jESS)	igen		-	-	-	-
N++	igen	igen	-	igen	-	-
Virtual Design Studio	igen	igen	-	igen	-	-
ZEB0	igen	igen	-	-	-	-
Riuska	igen	igen	-	igen	-	-
iDbuild	igen	igen	igen	igen	-	-
NewFacades	igen	-	igen	-	-	-
mkSchedule	igen	-	igen	-	-	-
MIT advisor	igen	igen	igen	-	igen	-

A fentiek alapján tehát három főbb csoportot különböztetünk meg dinamikus szimulációs szoftverek körében [39]. Ezek az alábbiak:

- Szoftverek saját önálló integrált szimulációs motorral (például EnergyPlus, ESP-r, TAS, IES VE, IDA ICE)
- Szoftverek, amelyek külső szimulációs motorral működnek - grafikus felhasználói felületek (például DesignBuilder, eQuest, RIUSKA, Sefaira)
- Más szoftverek bővítményei (például DIVA for Rhino, Honeybee, Autodesk Green Building Studio)

Épületek dinamikus szimulációjának alkalmazása és elfogadottsága eltérő a világ országai-ban. Magyarországon végezhető energetikai tanúsítás is velük a 9/2023 ÉKM rendelet 1. függelékének 3.4 fejezetében leírtak szerint, azonban használatuk nem kötelező. Az Amerikai Egyesült Államokban bizonyos szabványok és minősítések hivatkoznak az épületszimulációkra, mint az épületek energetikai teljesítményének megfelelőségét igazoló egyik módszerre [34]. Ilyen például az ASHRAE 90.1, az International Energy Conservation Code (IECC), a LEED, Green Globe, California Title 24, EnergyStar Multifamily High rise Program, Passive House Institute US (PHIUS) és a Living Building Challenge.

A dinamikus szimulációs szoftverek közül a más szoftverek bővítményeiként használtak és az önálló is képesek néhány szoftver esetén az önkéntes épületminősítések bizonyos szem-

pontjainak meghatározására. Ezen eszközök leggyakrabban az épületek energiafelhasználásának becslésére használatosak és a minősítések során is az energiafelhasználással kapcsolatos teljesítmény meghatározásához alkalmazzák legtöbbször. A modellek szoftverekkel való megalkotásának sokszor szabványok által meghatározottan kell történnie. Erre jó példa a LEED minősítés, mely az ASHRAE 90.1 szabvány G függeléke szerint létrehozott modelleket ismer el [39].

Dolgozatomban kiemelt figyelmet kap az EnergyPlus motorú DesignBuilder szoftver, ugyanis egyrészt egy igen széleskörben alkalmazható eszköz (lásd **4. táblázat**), másrészt munkám során ezen szoftverhez volt hozzáférésem. A legfőbb szempont azonban az, hogy az épületminősítések módszertanának adaptálására a nemzeti épületenergetikai tanúsításban ez a szoftver az egyik legalkalmasabb (ha nem a legalkalmasabb). A DesignBuilder egy önálló szoftver, mely a 2001 óta használatos EnergyPlus felhasználóbarát kezelőfelületeként indult útnak. Képes az energiafelhasználás, hőterhelések és hőigények pontos meghatározására, benapozás vizsgálatra és levegőminőség meghatározására, életciklus költségelemzésre és szén kibocsátás számítására. A szoftver jól használható korai tervezési fázisban a döntéshozatal támogatására, illetve optimalizáció is végezhető vele. Mindezekon felül alkalmas bizonyos LEED, BREEAM és Green Star követelmények és pontszámok számítására [40,41].

A DesignBuilder kiemelt figyelmet fordít a LEED minősítés Energia és környezet témakörének Minimum Energetikai Teljesítmény (Minimum Energy Performance, továbbiakban MEP) előkövetelményre és Optimalizált Energetikai Teljesítmény (Optimize Energy Performance, továbbiakban OEP) kreditekre. A MEP előkövetelmény nem teljesülése esetén az épület nem kaphat LEED minősítést, így igen fontos az ennek való megfelelés. Épülettípustól függően a minősítendő (tervezett) épületnek minimum 5% energiaköltség megtakarítást kell felmutatnia egy referencia (baseline) épülethez képest, mely tulajdonságait az ASHRAE 90.1 szabvány G függeléke részletezi [42]. Az OEP kreditszámok pedig a minősítés gerincét alkotják, hiszen az elérhető maximális 18 pont (mely szintén függ az épület típusától) az egyik legtöbb az összes szempont közül. A referencia épülethez képest elért megtakarítás az energiafogyasztási költségben adja az épület MEP kreditpontszámát a LEED v4 rendszer esetén, a LEED v4.1 már az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkenése alapján osztja meg a szerezhető pontszámot. Ezeket aztán egy jelentésben lehetőség is van exportálni a szoftverből, melyekkel már könnyen dokumentálható az adott minősítés szempontjaiban elért teljesítmény. Jelen vizsgálat legfőbb feladataként a szoftver LEED minősítés MEP és OEP követelményeinek megfeleléshez használatos funkcióit felhasználva végzem el egy épület energiatanúsítását. Ezen funkciókkal a tanúsítási folyamat várhatóan jelentősen leegyszerűsödik, hiszen a beépített referenciaépület-varázslóval mind a külső geometria (ablak-fal arányok), mind az épületszerkezetek automatikusan átválthatók. A referenciaépület épülettechnikai rendszerei pedig átmásolhatók a tanúsítandó épületből, így már csak az ÉKM rendelet szerint előírt változtatásokat kell elvégezni manuálisan. Mindezek mellett a használati profilokat a varázsló a rendeletnek megfelelően szintén megőrzi a tanúsítandó épület modelljéből [43,44].

4. A VIZSGÁLT ÉPÜLET

Az épületminősítéseket – ahogy azt már korábban kifejtettem – legtöbbször irodaházak esetén alkalmazzák, ezen épülettípusra igen kiforrott valamennyi minősítés. Emiatt egy irodaház a további vizsgálatok tárgya, mely energiatanúsítását később a 9/2023. ÉKM rendelet szerinti egyszerűsített energetikai számítással és az ASHRAE 90.1-2016 szerinti dinamikus szimulációs modell felhasználásával is elvégeztem. Ezen irodaháznak azonban további kényszerű feltétele, hogy minimum négyszintes épületnek kell lennie, a LEED-nél alkalmazott ASHRAE 90.1 szabvány ugyanis nem vonatkozik három, vagy annál kevesebb szintű épületekre (kivéve

a lakóépületeket) [42]. A dolgozatomban elemzett konkrét épület kiválasztásakor további nehézséget okozott, hogy igen körülményes egy irodaépület számításainak elvégzéséhez, minősítéséhez szükséges összes dokumentum beszerzése. Jelen esetben egy még kivitelezés előtt álló épület terveiből, műszaki leírásaiból dolgozhattam, így az igen részletes információszolgáltatás miatt pontosabb modellezés lehetséges.

4.1. Épület bemutatása

Az épület eredetileg a litvániai Kaunas városába tervezett épület, azonban a dolgozatban a releváns vizsgálat céljából Budapestet vettem figyelembe helyszínként. Az épület egy új építésű irodaház, beépített pinceszinttel, földszinttel, első és második emelettel, valamint tetőszinti építménnyel. A külső fal az épület litván vonatkozása miatt az ott jellemző fa könnyűszerkezetes külső fal, jellemzően 35 cm rétegelt ragasztott fa tartós falazat, 25 cm hőszigeteléssel ellátva. A pincefal 35 cm vasbeton falazat 20 cm hőszigeteléssel ellátva. A belső falak gipszkarton válaszfalak, leszámítva az épület központi merevítő és kiszolgáló magját, mely jellemzően vasbeton falazatú. A fűtetlen terek felé eső falakra az építész tervek felülbírálni 8 cm hőszigetelést vettem fel – így biztosítva a követelményeknek megfelelést (bővebben az egyszerűsített energetikai számítás részletezésénél). Az épület padlószerkezete 6 cm hőszigeteléssel ellátott, az intenzív zöldtetőre pedig 25 cm hőszigetelés került. A közbenső födémek jellemzően vasbeton vagy faszerkezetes födémek álmennyezettel. A nyílászárók modern, jó minőségű, fokozott légzárású szerkezetek háromrétegű üvegezéssel argon töltéssel, low-E bevonattal. Az épület fűtött alapterülete körülbelül 2400 m². Az irodaház látványterve a **7. ábrán** látható.

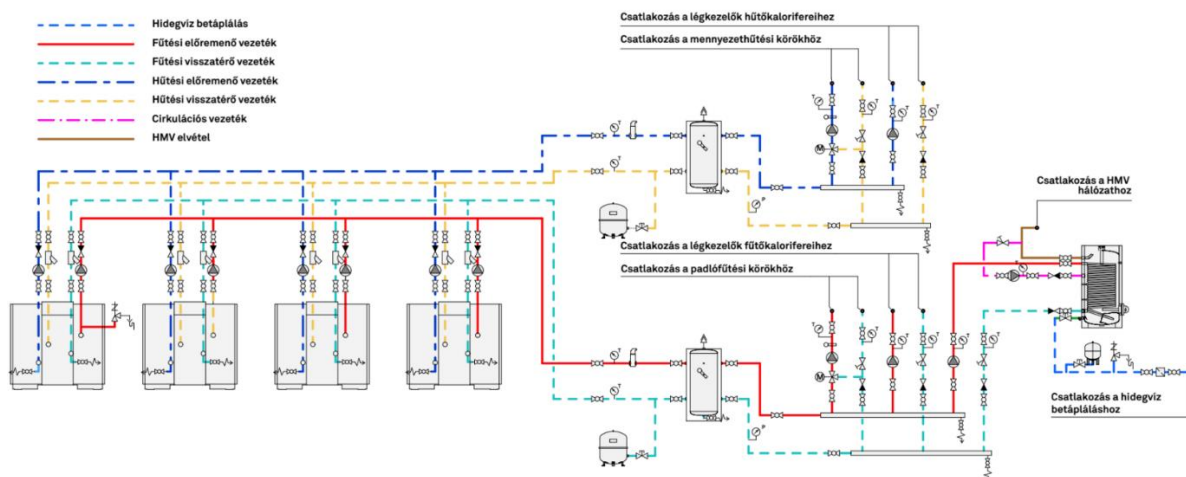


7. ábra Az épület látványterve

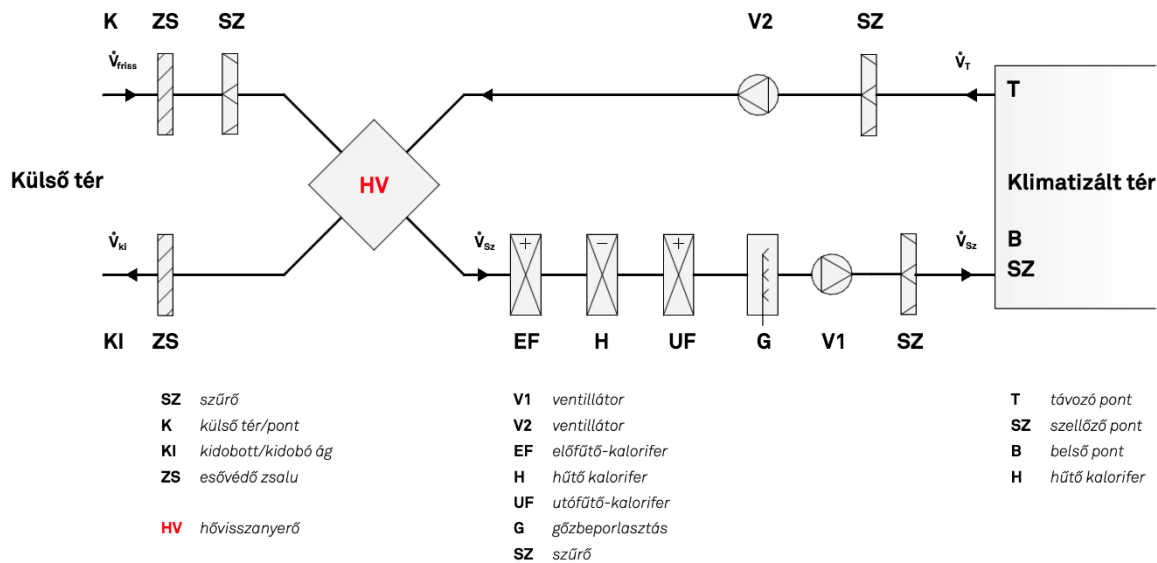
Az eredeti tervek szerint az irodafunkció mellett több egyéb funkció, többek között egy kiterjedt könyvtár rész is előfordul az épületben. Azonban ezek helyett is nyílt terű irodafunkciót feltételezek a számítások során, ezzel egyszerűsítve a modellen (könyvtárak esetén sokkal szigorúbb előírások vonatkoznak például a belső relatív páratartalomra). Ezen megfontolás alapján a legtöbb tér iroda funkciójú: köztük kis irodákkal, illetve egész szintet elfoglaló nyílt irodaterekkel. Ezek mellett a pincszinten egy irodai konferenciaterem is kialakításra került, illetve az előtérben kávézó, míg a második emeleten étkezési célt ellátó helyiség is található. A

kiszolgáló magban WC-k, illetve egyéb alárendelt helyiségek lettek kialakítva. Itt található a gépészeti helyiségek is, illetve a lépcsőfordulóból nyíló köztes szinteken.

Épületgépészeti rendszereit tekintve az épület hőtermelője négy darab talajszondás hőszivattyú kaszkádban, mely ellátja a fűtést, hűtést (1 db fűtési és 1 db hűtési pufferrel termelve), használati melegvíz igényeket, illetve ez a légtechnikai rendszerhez tartozó hőtermelő is egyben. A fűtési hőleadók a padlófűtési, a hűtési esetében pedig mennyezethűtési mezők. A légtechnikai rendszer is rásegít mind a fűtésre, mind a hűtésre. Szintenként egy-egy, azaz összesen négy légkezelő egység található az épületben (a már említett köztes szinteken). A gépészeti kapcsolás, valamint a légkezelő kapcsolás az alábbi rajzokon látható (8. ábra):



(a)



(b)

8. ábra (a) Gépészeti kapcsolási rajz (b) Légkezelő kapcsolási rajza

Az irodaház világítási rendszere LED-es dimmelhető rendszer, a WC-kben és lépcsőházban mozgásérzékelővel kapcsolva, valamint nappali fényérzékelés funkcióval. Az elektromosáram felhasználást részben a tetőszinti építmény tetején elhelyezett 25 db 455 Wp beépített teljesítményű napelemes rendszer látja el. Így az épületnek csupán villamosenergia igénye van, gáz-fogyasztás nem lép fel.

4.2. Energiatanúsítás egyszerűsített módszerrel

Az épület dinamikus szimulációs eredményeit lehetséges egy egyszerűsített energetikai számítással alátámasztani. Ezt a számítást a WinWatt gólya 9.30 verziójú szoftverrel végeztem el a 9/2023. ÉKM rendelet követelményeinek megfelelően.

A szoftverben a külső téli méretezési hőmérsékletet $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra vettem fel Budapestnek (az épület fiktív helyszínének) megfelelően.

Az építész terveket először is az ASHRAE 90.1 szabványnak és 9/2023. ÉKM rendeletnek megfelelésre kellett ellenőriznem, hiszen új építésű épületről van szó, valamint a későbbiekben a LEED minősítés megszerzéséhez az ASHRAE szabványkör szerint kell eljárni. Az ASHRAE 90.1-2016 szabvány G függelékének G3.4-5 táblázata a mérvadó, melynél az 5A klímazónát szükséges figyelembe venni. A 9/2023. ÉKM rendeletben pedig az 1.1 táblázat ad útmutatást.

Az ellenőrzés, valamint a módosított rétegrendek a 9. táblázatban láthatók.

Szerkezet jele	Típus (nem lakossági/Non-residential)	$U_{\text{számított}}$ [kWh/(m ² év)]	$U_{\text{ÉKM}}$ [kWh/(m ² év)]	U_{ASHRAE} [kWh/(m ² év)]	$U_{\text{módosított}}$ [kWh/(m ² év)]	SHGC _{sza-} mitott [-]	SHGC _{ASHRAE} [-]
Fk.01	Talajjal érintkező fal/Below-grade wall	0,137	0,3	0,154	-	-	-
Fk.02	Homlokzati fal/Above-Grade, Wood-framed and other	0,0666	0,24	0,504	-	-	-
Fk.03	Homlokzati fal/Above-Grade, Wood-framed and other	0,106	0,24	0,504	-	-	-
Fk.04	Homlokzati fal/Above-Grade, Wood-framed and other	0,149	0,24	0,504	-	-	-
P.01	Talajon fekvő padló/Floors	0,289	0,3	0,296	-	-	-
T.01	Lapostető/Roofs	0,087	0,17	0,36	-	-	-
T.02	Lapostető/Roofs	0,16	0,17	0,36	-	-	-
T.03	Lapostető/Roofs	0,102	0,17	0,36	-	-	-
Fb.04*	Belső fal (fűtetlen tér felé)/SEMIHEATED	0,57	0,4	0,504	0,396	-	-
Fb.02*	Belső fal (fűtetlen tér felé)/SEMIHEATED	0,511	0,4	0,504	0,367	-	-
-	Ajtó (belső, fűtetlen tér felé)/SEMIHEATED	-	1,4	3,975	1,4	-	-
-	Ablak (külső, fa vagy PVC)	0,8	1,1	3,24	-	0,39	0,344
-	Felülvilágító	0,7	1,7	3,92	-	0,39	0,344

9. ábra Rétegrendek megfelelése a követelményértékeknek [1]

A hőhidakat a rendelet szerinti egyszerűsített módszerrel az egyes szerkezeteknél a hőátbocsátási tényezőt módosító taggal vettem figyelembe, mely korrekciós tényező a szerkezet típusától és annak hőhidasságának mértékétől függően százalékos értéket jelent. Munkám során felmerült, hogy a hőhidakat részletes módszerrel vegyem figyelembe, azonban a nemzeti hőhidkatalógusban szereplő szerkezetek teljesen eltérőek voltak a vizsgált épületétől, így végül mindkét esetben (egyszerűsített számítás és dinamikus szimuláció) az egyszerűsített módszer használatát választottam.

Ezt követően a helyiségeket a belső méretek szerint vettem fel a szoftverben. A gépész helyiségek nem kondicionáltak, azonban mivel ezen helyiségek minden oldalról kondicionált helyiséggel vannak körülvéve, így a rendelet szerint erősen kapcsolt nem kondicionált térként kell ezeket figyelembe venni. Azaz a kondicionált zónák épülettechnikai rendszerei terjednek ki a gépész helyiségekre, valamint a fűtött alapterületbe is bele kell őket érteni. Minden kondicionált helyiség esetén $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os belső hőmérsékletet vettem fel téldre, míg nyárra $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot, az erősen kapcsolt nem kondicionáltak esetén rendre $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot. Az infiltráció értékét minden

helyiségben $n_{inf} = 0,06$ 1/h-ra vettem fel, valamint mivel nem nyithatók az ablakok és gépi szellőzéssel látjuk el a frisslevegő igényt, így a természetes szellőzés értékére $n = 0$ 1/h-t vettem fel (11. ábra).

A felvett helyiségeket ezután a 9/2023. ÉKM rendelet szabályai szerint zónázni szükséges. Ezt használati feltételek alapján a **10. ábra** szerint tettem meg.

Zóna típusa	A [m ²]	θ_F [°C]	θ_H [°C]	$n_{szüks}$ [1/h]	V_{LT}/A [m ³ /m ² h]	t_{nap} [h/nap]	$N_{év}$ [nap/év]	MV [lx]	q_b [W/m ²]
Kongresszusi központ, kiállítócsarnok	608,9	20	26	-	18,2	12,0	308	500	13,309
Előadó	205,8	20	26	-	28,8	12,0	308	500	87,427
Közlekedő	325,0	20	26	-	11,0	12,0	308	500	6,184
Alárendelt helyiség	19,4	20	26	-	36,0	12,0	256	500	41,734
WC és mosdó középületben	91,9	20	26	-	15,2	12,0	256	500	26,943
Étterem	202,9	20	26	-	23,9	12,0	308	500	49,12
Kis iroda (1-5 fő)	141,5	20	26	-	44,1	12,0	308	500	17,088
Nagy iroda (>5 fő)	473,4	20	26	-	26,0	12,0	308	500	42,125
Alárendelt helyiség	265,4	12	32	-	1,0	12,0	256	500	0

10. ábra Használati feltételek szerinti zónázás

A megvilágításra az egész épületre az irodaépületekre jellemző 500 lux-ot feltételeztem, a fajlagos hőnyereség értékénél pedig a zónacsoport egyes helyiségeiben feltételezett emberek, irodai gépek W értékét összegeztem, majd osztottam le a teljes zónacsoport alapterületével. Azonban mivel ez a teljes használati időszakra vonatkozó átlagos fajlagos belső hőnyereség, így a használat óránként bontott menetrendje alapján a reggel 6 és este 6 közötti időszak jellemző kihasználtságával (a DesignBuilder-ben később felvett menetrend frakcióinak átlagával a reggel 6 és este 6 közötti időszakra) még megszoroztam a kapott értéket. A szükséges szellőzési térfogatáram esetén $m^3/h/m^2$ adatmegadással az előző módszerhez hasonlóan jártam el: a tervek szerint ismert befűjt levegő térfogatáramból kiszámolva helyiségenként, majd ezeket az alapterülettel súlyozva. Azonban néhány esetben (2. emeleti irodák) a tervektől eltérő befűjt térfogatáramot adtam meg, mely a szimuláció eredményének köszönhető (a tervek szerinti térfogatáramokkal ugyanis alulméretezett lett volna a rendszer frisslevegő ellátása). Az üzemidők megadásánál igyekeztem a DesignBuilder-ben később megadott menetrendek szerint kiadódó óraszámokat megadni.

Majd hőegyensúly szerint is zónáztam az épületet:

Zóna megnevezés	$C_{m,eff}/A_N$ [kJ/m ² K]	n_{filt} [1/h]	$n_{éj}$ [1/h]	A [m ²]	fűtés programozható	hűtés kikapcsolható
Pincszint nagy tér	321,73	0,06	0,0	372,2	Igen	Igen
Pincszint vasbeton mag	321,73	0,06	0,0	55,7	Igen	Igen
Pincszint benapozott	321,73	0,06	0,0	205,8	Igen	Igen
Földszint É	321,73	0,06	0,0	122,6	Igen	Igen
Földszint K	321,73	0,06	0,0	68,8	Igen	Igen
Földszint D	321,73	0,06	0,0	122,6	Igen	Igen
Földszint Ny	321,73	0,06	0,0	68,8	Igen	Igen
Földszint vasbeton mag	321,73	0,06	0,0	78,6	Igen	Igen
1. em. É	321,73	0,06	0,0	119,9	Igen	Igen
1. em. nincs ablak K	321,73	0,06	0,0	73,9	Igen	Igen
1. em. D	321,73	0,06	0,0	119,9	Igen	Igen
1. em. nincs ablak Ny	321,73	0,06	0,0	71,3	Igen	Igen
1. em. vasbeton mag	321,73	0,06	0,0	80,6	Igen	Igen
2. em. É	321,73	0,06	0,0	88,4	Igen	Igen
2. em. belső	321,73	0,06	0,0	99,7	Igen	Igen
2. em. K	321,73	0,06	0,0	73,8	Igen	Igen
2. em. D	321,73	0,06	0,0	95,1	Igen	Igen
2. em. Ny	321,73	0,06	0,0	46,5	Igen	Igen
2. em. vasbeton mag	321,73	0,06	0,0	78,2	Igen	Igen
Tetőszint vasbeton	321,73	0,06	0,0	26,5	Igen	Igen
Alárendelt	321,73	0,06	0,0	265,4	Igen	Igen

11. ábra Hőegyensúly szerinti zónázás

A hőegyensúlyi zónák esetében programozható fűtést adtam meg, kikapcsolható/leszabályozható hűtéssel.

Mindezek után az épülettechnikai rendszerek megadását is megtettem. A gépész leírások, dokumentumok alapján az épület hőtermelője elektromos üzemű hőszivattyú, talajhő hőforrással, 4,57-es SCOP-vel, ami 0,219-es teljesítménytényezőnek felel meg, 55/45 °C-os vízhőmérséklettel, fordulatszám szabályozott szivattyúval 10 K-es hőlépcsővel, padlófűtéssel és mennyezethűtéssel. Ezen utóbbihoz központi előremenő és helyiségenkénti szabályozás, valamint 55/45 °C-os hőtárolás tartozik.

Ugyanezen hőszivattyú látja el egy indirekt fűtésű tárolóval és cirkulációval a használati melegvíz készítését, mely esetében a műszaki leírásban szereplő 420 fogyasztót vettem fel fejenként 0,0708 kWh fogyasztással. Ez az érték az MSZ EN 16798-1 szabvány szerinti irodaházakra jellemző 100 l/m²év adatból származtatott érték [26], az (1) egyenlet alapján és rendszeralapterületből számolva (fogyasztási adatok hiányában).

$$\dot{Q} = c \cdot \dot{m} \cdot \Delta T \quad (1)$$

ahol,

$\dot{Q}$ – elfogyasztott hőmennyiség, kWh

c – víz fajhője, kJ/kgK

$\dot{m}$ – HMV fogyasztás tömegárama, kg/s

ΔT – HMV ellátás hőfoklépcsője, K

A szintenként egy-egy, azaz összesen négy légkezelő egységből álló légtechnikai rendszert is a tervek szerinti térfogatáramokkal vettem fel, 75%-os hővisszanyerési hatásfokkal. A fűtésre és hűtésre is rásegítő rendszer hőtermelője szintén a talajszondás hőszivattyú, a szabályozás pedig helyiségenként történik. A ventilátorok összhatalásfokára 70%-ot, míg áramlási ellenállására 300 Pa-t vettem fel. A téli befűvási hőmérsékletre 20 °C-ot, míg a nyárra 16 °C-ot vettem fel, mely értékek a dinamikus szimulációs számítás szerint kerültek meghatározásra - a szimulációban a légkezelőkre a szoftverrel számoltattam ki az ideális befűvási hőmérsékletet, mely ugyan időben változik, azonban átlagos értéket feltételeztem az egyszerűsített számítás során. Szintén a szimulációból lehetett meghatározni a gőzbeporlasztás energiaigényét, melynek fogyasztását az egyszerűsített számítás során is hozzáadtam a légtechnikai rendszerek fogyasztásához kézzel (a gőzbeporlasztás nélküli eredmények is bemutatásra kerülnek, szemléltetve ezzel hatását a tanúsítási eredményekre). Ennek részletezése a dinamikus szimulációs számításnál történik.

A hűtési rendszer esetén is a már említett talajszondás hőszivattyú látja el a rendszert, mely SEER = 4,79, azaz 0,209 teljesítménytényezővel került felvételre. A hőhordozó közegre 16 °C/18 °C-os hűtött vizet vettem fel, a látens igényt pedig szintén 16 °C/18 °C-os hőmérsékletű hőleadóval feltételeztem.

A világítási rendszer pedig LED-es és dimmelhető, a lépcsőházakban, WC-kben automatikus be- és kikapcsolással van ellátva. Az évi üzemórák számát szintén a DesignBuilder-ben is megadott használati menetrendekből származtattam, szétbontva azt éjjeli és nappali időszakokra. A beépített teljesítmény az ÉKM rendelet szerint:

$$P_j = \frac{MV}{FH \cdot \eta_{vit}} \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (2)$$

ahol:

MV – a helyiségre előírt megvilágítás, lx

FH - fényforrások fényhasznosítása, lm/W

η_{vit} - fényforrások hatásfoka, -

A fenti képletbe behelyettesítve:

$$P_j = \frac{500 \text{ lx}}{120 \frac{\text{lm}}{\text{W}} \cdot 0,5} = 8,333 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad (3)$$

Az ASHRAE 90.1 G függelékének 9.5.1. táblázata szerint irodaépületre ennek maximum értéke 8,5 W/m², így az értéket elfogadhatjuk. A világításról ugyanis nincsenek részletes tervek, így LEED minősítés esetén ilyenkor az ASHRAE szabvány előírásai szerint kell feltételezni a világítási rendszer kialakítását.

A tetőn elhelyezett napelemes rendszert is felvettem egyszerűsített számítással, 11,375 kWp (25 db 455 Wp-es panel) összteljesítménnyel. A rendszerek részletesebb energetikai paramétereit a csatolt WinWatt számítási mellékletben láthatók (**6. melléklet**).

A kategóriába soroláshoz a referencia épület adatainak felvételekor közepesen hőhidas épületszerkezetekkel és 0,06 l/h-ás infiltrációval számoltam. A tanúsítandó épülethez hasonlóan a fűtési hőtermelő és elosztóvezetékek a fűtött térben találhatók, több, mint 10 hőleadóval. A használati melegvíz termelés hőtermelője is ugyanaz a hőszivattyú, így az is a fűtött térben helyezkedik el a referenciaépület esetében is. A referenciaépület hűtési rendszerében a 400 kW alatti teljesítményhez, valamint víz-víz hűtőgéphez tartozó SEER = 5,1 értéket vettem fel.

5. ENERGIATANÚSÍTÁS DINAMIKUS SZIMULÁCIÓVAL

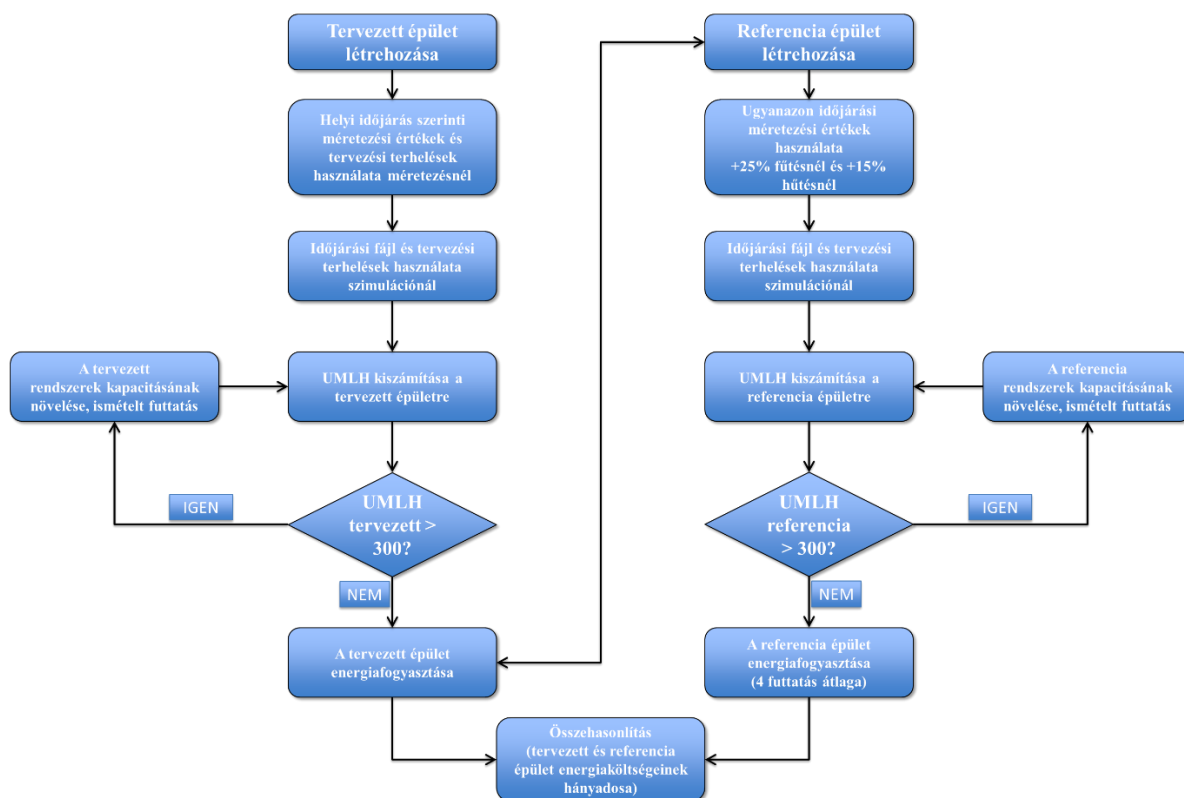
5.1. Kiindulás

Az épület dinamikus szimulációs modelljét a DesignBuilder v7.3.0.038 verziójú szoftverrel készítettem el. Az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról szóló 9/2023. (V. 25.) ÉKM rendelet 1. függelékének 3.4-es pontja szerint dinamikus szimuláció használatakor még lakóépületre is, azaz minden épületfunkció esetén kötelező a referenciaépület módszert alkalmazni. Így fix érték helyett egy fiktív épülettel szükséges összehasonlítani a tanúsítandó épületet, s ez alapján kell elvégezni az épület besorolását. Mivel a vizsgált épület egy irodaépület, így mindenképpen a fenti módszertant szükséges alkalmazni (mint minden esetben dinamikus szimuláció használatakor).

A szimulációs modell eredetileg a LEED v4.1 Minimális energetikai teljesítmény (Minimum Energy Performance, azaz MEP – EA2), az Energetikai teljesítmény optimalizálása (Optimize Energy Performance, azaz OEP – EA1), valamint a Benapozás (Daylight – EQc7) szempontok pontszámainak meghatározásához készült, így a modell létrehozására precíz előírások vonatkoztak. Ezen modell felhasználásával praktikusán így a tanúsítás során az is vizsgálható, hogy egy épületminősítéshez már korábban elkészült dinamikus szimulációs számítás hogyan használható. A tanúsítás előtt célszerű ezen említett előírásokat összeegyeztetni a 9/2023. ÉKM rendelet 1. függelékének 3.4-es fejezetében leírtakkal, mely ismerteti az energiatanúsítás feltételeit dinamikus szimuláció használatakor.

A kiindulási pont tehát feltérképezni a modell eredeti célját, illetve az épület LEED szerint végzett tervezési állapotát. Minimális energetikai teljesítmény követelmény szerint az épületnek minimum 5%-os energiaköltség megtakarítást kell elérnie egy baseline, azaz referencia épülethez képest: ezen referencia épület az ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1 G függelékben megfogalmazottaknak megfelelő épület. Emellett a szabvány kötelező előírásainak is meg kell felelni (5.4, 6.4, 7.4, 8.4, 9.4 és 10.4 fejezetek) – ezen előírások mellett természetesen az

ÉKM rendelet előírásainak betartása is kötelező (1. melléklet - Általános követelmények fejezet). Az Energetikai teljesítmény optimalizálása kreditpontok meghatározásánál ugyanezen szabványnak kell megfelelni, viszont itt már az elért üzemeltetési költség csökkenése, valamint LEED v4.1 esetén az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkenése alapján osztják a pontokat. A LEED v4.1 több számítási módszert is kínál, jelen vizsgálat esetén az Energy Performance Compliance, azaz az Energetikai Teljesítmény Megfelelőség módszerét használtam. A két szempont (MEP és OEP) számításának folyamata megegyezik, mely a **12. ábrán** látható.



12. ábra A LEED v4.1 energiamodell létrehozásának folyamata [45]

A folyamatábra szerint a számítás a tervezett (azaz jelen esetben tanúsítandó) épülettel kezdődik, majd ezt követi a referenciaépület modellezése. Ezen sorrendiség azért szükséges, mert a referenciaépület számos tulajdonságát a tanúsítandó épületből örököli. Az ábra is jól mutatja, hogy a referencia épület fűtésének 25%-os, hűtésének 15%-os túlméretezése szükséges (ezt a szoftver automatikusan megteszi). Mindkét épület épületgépészeti rendszereinek létrehozásakor teljesülnie kell annak, hogy a kielégítetlen órák száma (Unmet Load Hours: UMLH) kisebb legyen évi háromszáznál. Ez zónánként (is) értendő, valamint a két érték (tervezett és referencia épület) között sem lehet ötven óránál több eltérés éves szinten (a referencia épület UMLH értéke lehet 50 óránál nagyobb, mint a tervezett épületé, fordított eset viszont nem lehetséges). Ha ez nem teljesül, akkor növelni szükséges a rendszerek méretét addig, amíg meg nem felel ezen kritériumnak. A tervezett épületet hasonlítjuk a számítás végén a referencia épülethez a már korábban részletezett mennyiségek szempontjából (a referenciaépület fogyasztási eredménye a referenciaépület eredeti és annak 90, 180, valamint 270 fokkal elforgatott tájolás szerinti szimulációs eredményeinek átlaga). Tehát a módszertan az ASHRAE 90.1 szerint is egyfajta referenciaépület-módszer, azaz célszerű kihasználni a szoftver funkcióiban rejlő potenciált az ÉKM rendelet szerinti tanúsítás során.

A számításhoz tipikus éves meteorológiai (TMY: Typical Meteorological Year) adatokat, vagy azok megfelelőjét kell alkalmazni a legközelebb elérhető időjárási állomásról. Ez az ÉKM rendelet függelékeiben is megadott adatsornak megfeleltethető.

A tanúsítandó épület modelljének felvételekor a tervezési dokumentumok voltak a mérvadók, figyelembe véve az ASHRAE 90.1-2016 szabványt is. Ezen utóbbi ugyanis egy kötelezően alkalmazandó szabvány a LEED v4.1 minősítés szerinti energetikai modell megalkotásánál (ASHRAE 90.1-2016 G függelék), valamint például az épületszerkezetekre, épületgépészeti elemekre vonatkozó kötelező előírásokat is magában foglalja. Abban az esetben, ha nincsenek tervek az adott részrendszerre vonatkozóan, akkor a referencia épület adatai vehetők fel, illetve egyes esetekben az ASHRAE 90.1 ad útmutatást.

A legtöbb esetben az ASHRAE 90.1 szerinti tervezett épület modellje pontosan tükrözi a valós terveket, állapotokat. Azonban az ASHRAE 90.1 G függelék néhány konkrét esetet jelöl meg, ahol a modellezett paraméterek eltérhetnek az aktuális tervezéstől. Erre egy jó példa, hogy a tervezett (azaz tanúsítandó) épületben az összes kondicionált helyiséget - néhány kivétellel - úgy kell szimulálni, mintha mind fűtenék, mind pedig hűtenék, még akkor is, ha nincs telepítve fűtési vagy hűtési rendszer. Ez jelen épület esetén nem jelent különbséget az ÉKM rendelet szerinti tanúsításhoz képest, ugyanis valamennyi helyiség vagy kondicionált, vagy erősen kapcsolt nem kondicionált (utóbbi igen hasonlóan viselkedik a kondicionált helyiségekhez képest). A rövid módszertani áttekintő után rátérek az épület adatainak megadására.

5.2. Tanúsítandó épület

Alapadatok

A modell felvételének folyamata az alapadatok megadásával kezdődik, itt kerül megadásra például a geometria konvenció, helyszín, időjárási adatok. Az eredeti célra, azaz a LEED minősítéshez az ASHRAE 90.1-2016 szabvány szerinti projekt típust választottam (LEED v4.1 esetén az ASHRAE 90.1-2016 a mérvadó), azonban később ez módosításra kerül praktikus okok miatt az energiatanúsítás során. A választott ASHRAE 90.1 geometria konvenció külső méreteket használ és elkülöníti a rétegrendi adatokat a geometriától. Így mivel referencia épület esetén más falvastagságok léphetnek fel, a program automatikusan lekezel. Ezen geometria konvenció eltér az ÉKM rendelet szerinti belső geometria konvenciótól, azonban a szerkezetek vastagságát az ÉKM szerinti tanúsításban is célszerű hasonlóan 0 értékre venni, mivel ezen esetben is változnak a falvastagságok a referenciaépület esetén (ha nem nulla lenne a falvastagság, akkor változna a fűtött alapterület, azaz a fajlagos értékek is eltérnének). Az eltérő konvencióból adódó esetleges eltéréseket később tárgyalom, az épület létrehozása után ugyanis utólag nem korrigálható a szoftverben az eltérő geometria konvenció. Az ÉKM rendeletnek megfelelő saját geometriai konvenció egy új projekt esetén egyébként létrehozható például az ASHRAE 90.1 konvenciót lemásolva, átállítva a külső felület és térfogatszámítási módszereket belsőre, valamint belső mérettel rajzolva az épület geometriáját.

A tanúsítandó épület (fiktív) helyszíne tehát Budapest, így a szoftverben az ennek megfelelő helyszíni adatok felvétele szükséges. Az óras időjárási adatokhoz az ÉKM rendelet 2. függeléke szerinti TMY, azaz tipikus meteorológiai év adatait használtam. A modell beállításainál az adatmegadás módjai, illetve annak részletessége is ilyenkor tisztázandó. A hőnyereségeket zónánkénti adatmegadásra, míg az időzítési módot menetrendek szerintire állítottam. A LEED leírása szerint a minél pontosabb modellezés miatt részletes gépészeti modellt veszek fel és azt is részletes adatmegadási módszerrel. Szintén kötelező előírások miatt 6 időlépést választottam óránként, illetve a szimuláció futtatása kötelezően 8760 óras, azaz éves szintű óras bontásban. Ezen utóbbi szempontok mind összhangban vannak az ÉKM rendelet előírásaival. A DesignBuilder LEED útmutatója szerint a modellezést a tanúsítandó épület létrehozásával kezdtem, majd az

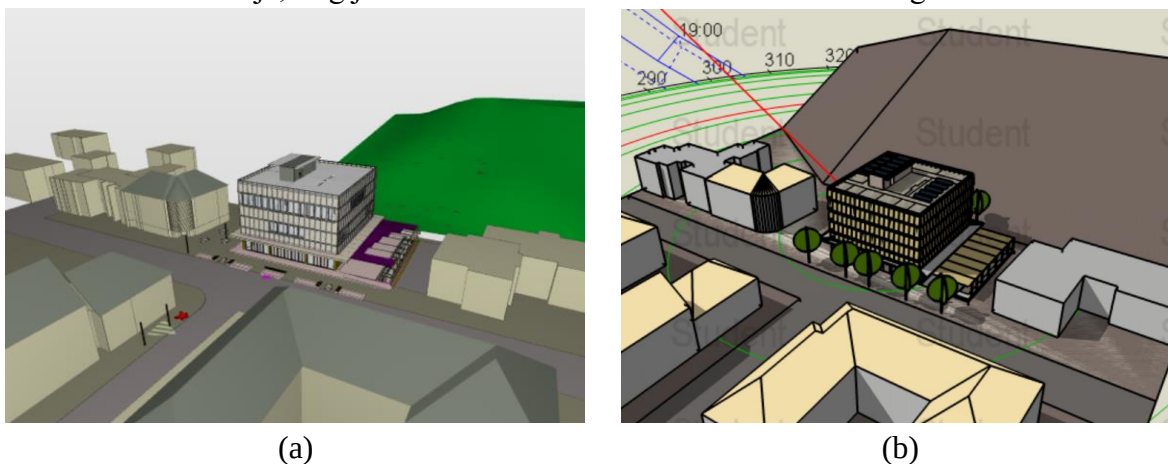
úgynevezett **Baseline varázslóval** hoztam létre belőle a referencia épületet az ÉKM rendelet szerinti tanúsításnál.

A modellgeometria megalkotása előtt a **Site**, azaz telek szinten szükséges még néhány alapbeállítást megtennünk. Itt történik a rendelet szerinti meteorológiai adatsor betöltése a helyszín fölön, valamint a későbbi összehasonlíthatóságához itt állíthatjuk be a téli és nyári külső méretezési hőmérsékletet $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$, illetve $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra a téli, illetve a nyári méretezési napok adatainál. Szintén telek szinten lehet beállítani a részletes talaj számítási módot a **Ground Domain** beállításával, mellyel a talajjal érintkező szerkezetek hőáramait lehetséges a rendeletnek megfelelően modellezni (ugyanítt lehetséges a havi talajhőmérsékleteket is beállítani).

A telek szinten, azon belül pedig a régió fölön szükséges beállítanunk az ÉKM rendelet szerinti súlyozó tényezőket (f_{nren} , f_{ren} , f_{tot} , f_{CO2eq}). Fontos, hogy az általunk megadott adatok használatát meg külön meg is kell erősíteni. Emellett később az eredmények értékelésénél látható lesz, hogy az EnergyPlus v9.4 hibája miatt jelenleg az összegző táblázatban hibásan történik a „Total Source Energy”, azaz a teljes primer energiaigény meghatározása a felhasználó által megadott súlyozótényezők használatakor. Ezen hiba miatt a fenti súlyozó tényezőket kézi számítással veszem később figyelembe.

Modellgeometria

Ezek után létrehozható az épületgeometria a szoftver igen sokszínű rajzeszközével – ezt tehát a LEED miatt az ASHRAE szerinti külső méretekkel tettem meg. A **13. ábrán** bal oldalt az irodaház IFC modellje, míg jobb oldalt a dinamikus szimulációs modellgeometria látható.



13. ábra A modellgeometria IFC formátumban (a), és DesignBuilder szoftverben (b)

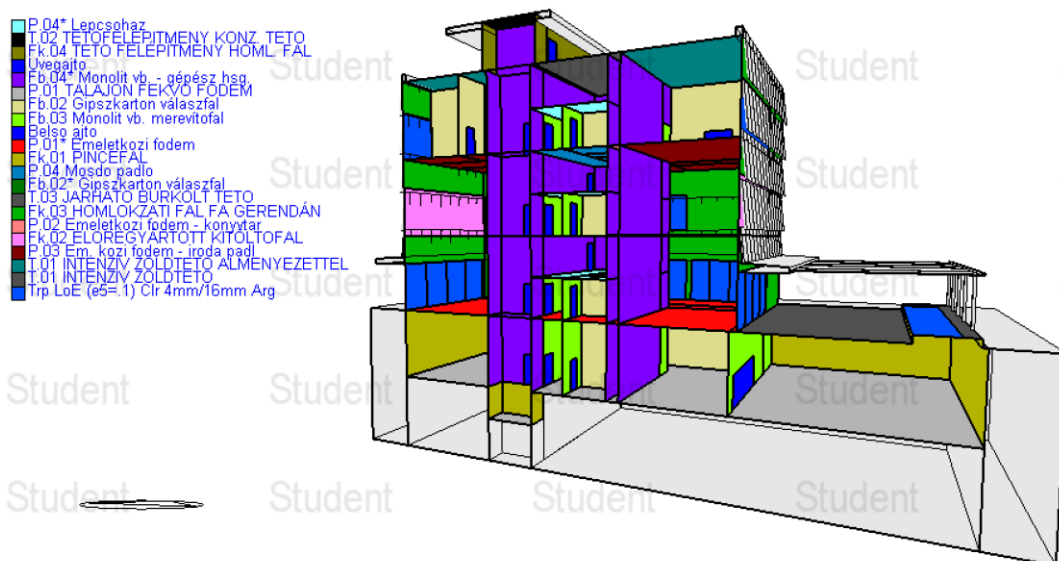
A termikus zónákat az ÉKM rendelet 5. fejezete alapján vettem fel. A belső válaszfalakat ugyan elegendő lett volna hőtároló tömegükkel figyelembe venni, azonban a LEED minősítéshez minden zónát külön felvettem a modellben – eltérően a WinWatt szerinti egyszerűsített módszernél. Az épület környezetének felvételekor az ASHRAE 90.1 hasonlóan jár el a 9/2023. ÉKM rendelethez: az ASHRAE szerint ezek modellezése attól függ, hogy a külső akadály távolságához képest mekkora annak magassága, míg az ÉKM rendelet szerint az épület sugárzási nyereségeit jelentősen befolyásoló akadályokat szükséges modellezni. A rendelet szerint az árnyékvetítő szerkezeteket modellezni szükséges, ha árnyékvetítő szögük nagyobb, mint 30° , azonban az ASHRAE szerint minden szerkezet figyelembevétele kötelező, így utóbbival élve az ÉKM rendeletnek is megfelel a modell.

Épülethasználat

Következő lépésként az épülethasználati profilok, jelenléti adatok, belső nyereségek és mindezek menetrendjei adhatók meg. Ezt zónánkénti adatmegadással tettem meg a részletes adat-szolgáltatásnak köszönhetően, az egyes zónákra jellemző használati menetrendekkel, abszolút teljesítményértékekkel (épületre tipikusan jellemző adatok, avagy tervezők által adott adatok alapján). Az irodaházakra jellemzően, illetve az építészeti és bútorozási tervek alapján a helyiségekben adott számítógépek, irodai berendezések, esetleges étkeztetési felhasználások kerültek rögzítésre. Jelenléti menetrend esetén 5 különböző menetrendet definiáltam: alárendelt helyiségekre, étkeztetésre, előadóra, irodákra, valamint közös részekre vonatkozóan. Általában reggel 8 és este 6 közötti törzsidőszakkal (kivéve az előadó szombat délelőtti konferencia funkcióját), csökkentett jelenléttel a késő esti időszakokban (takarító és egyéb kiszolgáló személyzet). Ezekhez hasonló irodai berendezés menetrendeket definiáltam, minimális éjszakai készenléti (standby) fogyasztással. Fűtési parancsolt (set-point) hőmérsékletnek $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot, míg csökkentett fűtési hőmérsékletnek $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot vettem fel. Hűtési parancsolt (set-point) hőmérsékletnek pedig $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot, míg csökkentett hűtési üzemmódra $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot vettem fel. A csökkentett üzemmódok a 18 óra és reggel 6 óra közötti időszakot jelentik. A zónák gépész menetrendjeit a részletes gépészeti adatmegadás miatt már a gépész zónacsoport párbeszédablakban adtam meg. Az ÉKM rendelet által említett - lakóépületek esetén kötelező – MSZ EN 16798-1 szabvány használata a menetrendek meghatározására csak ajánlott, így nem éltem vele. Továbbá a lakóépületekre 22 és reggel 6 között engedélyezhető fűtés-csökkentési időszak lekorlátozása sem kötelező az irodaépületre.

Átlátszatlan épületszerkezetek

Az épületszerkezetek rétegrendjeinek felvételekor a már korábban is említett ellenőrzést (ASHRAE 90.1 szabványnak és 9/2023 ÉKM rendeletnek megfelelést) megtéve az építész tervek alapján a **14. ábra** A rétegrendek az épület metszetében ábrán látható módon dolgoztam. A szerkezetek egyszerűsített módszer szerinti hőhíd-korrekcióval ellátott értékeit vettem fel DesignBuilder-ben (a nemzeti hőhídkatalógus nem releváns a részletes módszer használatakor), lerontva a hőszigetelések lambda hővezetési tényező értékeit. A nemzeti szerkezet anyagbázis hiánya miatt saját anyagokat definiáltam, megadva a WinWatt-ban is szereplő fajhő, sűrűség és hővezetési tényező értékeket. A rendelet kitér arra is, hogy a felületi hőátadási tényezők értékei számíthatók dinamikus módon, így jelen dolgozatban nem rögzítettem ezek értékeit (eltérően a WinWatt adott esetekre megadott értékeitől).



14. ábra A rétegrendek az épület metszetében

Üvegezett szerkezetek

A rétegrendek mellett természetesen a nyílászárók (üvegezett szerkezetek) adatmegadása is megtörtént szintén az építész tervek alapján. A nyílászáróknál az ÉKM rendelet 1. függelékének 4.3.1 fejezetében leírt 4.16 egyenlettel határoztam meg kézi számítással az ablakok hőátbocsátási tényezőjét.

A képletben szereplő tagokat (üvegezés, keret, távtartó adatai) az átlátszó szerkezetek összefoglaló eredménytáblázatából nyertem ki. További szempont, hogy a DesignBuilder-ben (és az ASHRAE-ben is) szereplő SHGC, azaz Solar Heat Gain Coefficient (ami nagyban függ a solar transmittance, azaz a napfény áteresztés értékétől) érték az ablak össz-sugárzásátbocsátási tényezőjével egyeztethető össze. Az ÉKM rendelet 2.4. táblázata alapján az infiltráció értékére $n_{inf} = 0,06$ 1/h-t vettem fel (jó légzárás, több homlokzaton).

Árnyékolók

A társított árnyékoló szerkezeteket nem vettem figyelembe a számítás során a biztonság javára tévedve. Az árnyékoló szerkezetek működtetésénél az ablak árnyékolás opcióval végeztem a modellezést, megadva a külső árnyékoló szerkezet adatlap szerinti anyagjellemzőit. A rendelet szerint az árnyékoló a hűtési idényben akkor van csukva, ha a sugárzási intenzitás (ablakon eső) 300 W/m^2 -nél nagyobb (ezen érték a valós épületnél eltérő lehet). Ezt a nappali hűtés és sugárzás szabályozási típussal lehet a legpontosabban modellezni, mely a szimuláció során az előző időlépést nézve dönti el, hogy üzemelt-e a hűtés (és hogy teljesül-e a sugárzás intenzitás feltétele). Mindezek mellett a modellben jelenleg berajzolásra kerültek a külső árnyékolók komponens blokkokkal is, azonban az EnergyPlus v9.4 hibája miatt ezek átlátszósági menetrendjét megadva nem jól számol a szoftver. Így jelenleg csupán a későbbi esetleges szoftverjavítások esetére teljesen átlátszó blokkokként a modellben hagytam (a számítások eredményét nem befolyásolja).

Beépített világítás

A világítási rendszer megadásával folytatható a munkafolyamat. Ugyanis mivel az épület nem lakóépület, így a világítási energiaigény is számítandó. Ezen esetben a LEED minősítéshez az ASHRAE 90.1-2016 szabvány útmutatása alapján vettem fel a rendszerjellemzőket, ugyanis ezen részrendszerrel részletes terv még nem készült a modell megalkotásakor. Így a szabvány 9.5.1 és 9.6.1 számozású táblázatai alapján $8,5 \text{ W/m}^2$ fajlagos értéket vettem fel a beépített

világítási rendszer energiasűrűségére az egész épületre vonatkozóan (ez a megengedett maximális érték irodaépületek esetén). Az egyszerűsített számításnál adódott $8,333 \text{ W/m}^2$ ezen értékkel összhangban van, így emiatt nem lesz eltérés a két számítási módszer között. A műszaki leírás alapján süllyesztett lámpatestek lesznek az épületben, illetve szintén a 9.6.1-es táblázat alapján napfény szerint szabályozandó a világítási rendszer jelenlétérzékeléssel (ezen utóbbi a jelenléti menetrendek alapján üzemelést jelent). Külső világításra az épület ASHRAE 90.1 szerinti kategóriájára jellemző maximális 500 W abszolút teljesítményt vettem fel. Valamint a külső világítás menetrendjének megadásakor ügyeltem az ASHRAE 90.1-2016 szabvány 9.4.1.4 pontjára, mely szerint a külső világítást legalább éjfél és reggel hat óra között le kell kapcsolni. Az ÉKM rendelet szerinti számításba viszont nem vonható bele a külső világítás energiaigénye az EPBD irányelvben leírtakkal összhangban [29].

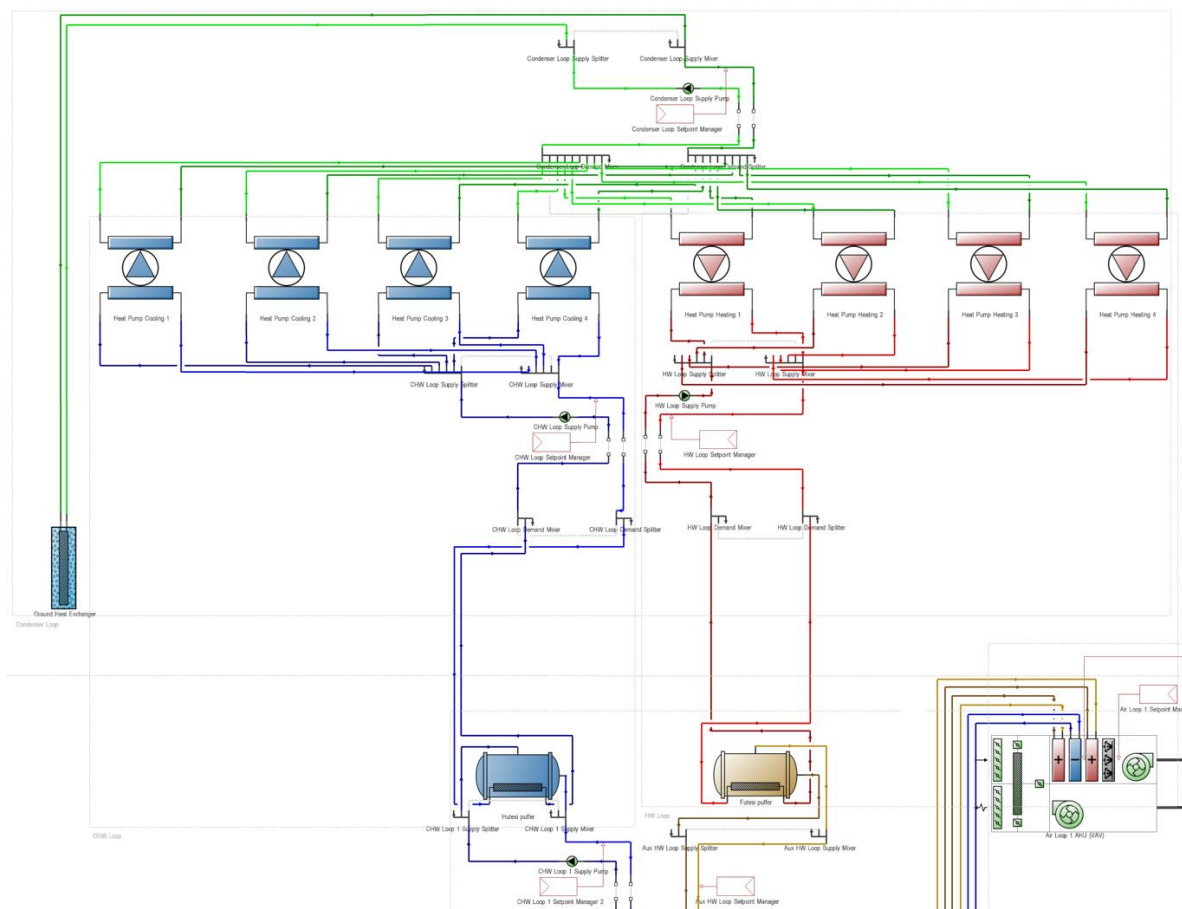
A LEED minősítés megköveteli a gépészeti rendszer lehető legpontosabb modellezését, így a gépészet felvételekor részletes gépészetet modelleztem, valamint törekedtem a rendszerek összes elemét számításba venni. A DesignBuilder kapcsolási sémát előre definiált sablon kapcsolások segítségével kezdtem el felvenni a tervek és leírások alapján, a talajszondás hőszivattyú sablont kiválasztva kiindulásnak. A szoftver különböző körökből (pl. melegvizes kör, használati melegvizes kör, levegő kör) építi fel az egyes alrendszereket (pl. fűtés, használati melegvíz, gépi szellőzés), melyek alkotják a teljes rendszert.

Fűtési rendszer

A fűtési rendszer felvételekor először a szondakör felvételét szükséges megtenni a talajszondás hőszivattyúhoz, megadva a talajszondák darabszámát és hőtechnikai tulajdonságait. A szondakört ezután már csatlakoztathatjuk a 4 db hőszivattyúhoz, melyeket külön-külön kell felvenni fűtési és hűtési oldalra. A fűtési körben a legtöbb szelep nem kerül modellezésre, azonban a szivattyú adatai, például hatásfokgörbéje, nyomásemelése megadható. Ezt követően megadhatók a beltéri egységek beléptetési logikája, mely jelen esetben a teljes teljesítmény 4 szakaszra osztásával történt – ezzel modellezhető a kaszkád kapcsolat. A setpoint manager-ekkel, azaz a szabályzási funkciót ellátó elemekkel lehetséges beállítani a fűtési kör előremenő hőmérsékletét és annak menetrendjét (mindig $50 \text{ }^\circ\text{C}$). Majd a hőszivattyú adatait is szükséges megadni a $\text{COP} = 4,57$ értéket figyelembe véve: a teljes fűtési kapacitást leosztva a felvett teljesítménnyel. A kiválasztott hőszivattyú sablon tartalmazza a hőtermelő hatásfokgörbéjének paramétereit is. A fűtési hőtermelők 1 db puffertartályra dolgoznak, melyet egy további új kör hozzáadásával lehet felvenni a kapcsolási sémába. A felvett melegvíz tároló térfogatát megadhatjuk, valamint beállíthatjuk, hogy a tároló rétegzett tárolóként legyen modellezve – ahogyan a valóságban is üzemel. Megadható a hőmérséklet menetrendje (mindig $50 \text{ }^\circ\text{C}$), hővesztesége, a rétegek száma is. A hőveszteség megadásakor figyelembe vehető, hogy melyik helyiség hőmérséklete szerint legyen értelmezett a hőveszteség, így a puffertartályt ezzel a módszerrel lehetséges a fűtött térbe felvenni, mely az ÉKM rendeletben is értelmezhető változást okoz. A puffertartály után már az osztó-gyűjtők következnek a sémában, ahonnan a hőleadókhoz ágazik szét a rendszer.

Hűtési rendszer

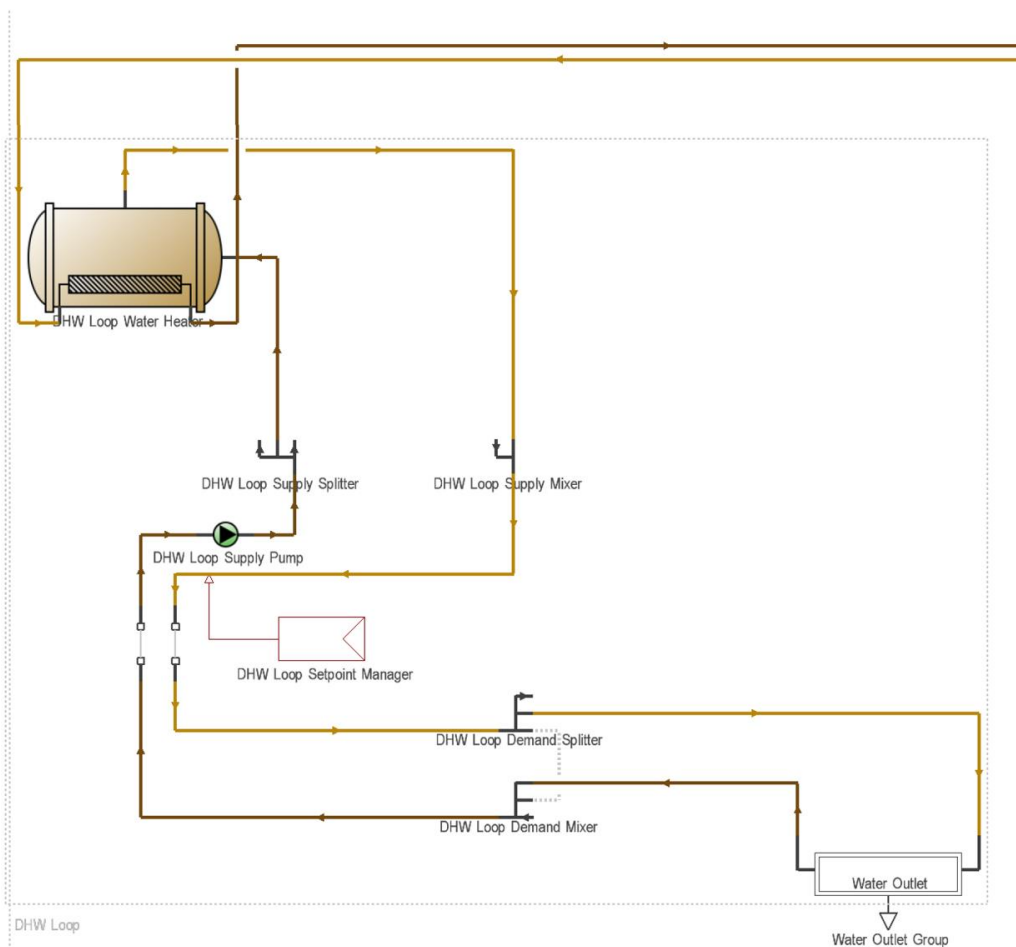
A hűtési hőtermelő oldal modellezése a fűtésivel egybevetően történik, az előremenő (és tárolt) hőmérséklet $6 \text{ }^\circ\text{C}$, a tárolás szintén kondicionált térben történik. A hőtermelő oldal eddig kialakított kapcsolási séma részlete a **15. ábrán** látható a DesignBuilder kezelőfelületében megjelenítve.



15. ábra Hűtési és fűtési rendszer kapcsolása DesignBuilder-ben, a hőtermelői oldalt mutatva (teljes kapcsolási rajz az 7. mellékletben található)

Használati melegvíz ellátó rendszer

Az osztó-gyűjtők után először a használati melegvíz (HMV) termelés alrendszer felvételével folytatom. Ehhez természetesen egy újabb kört szükséges definiálni, mely tartalmaz egy indirekt fűtésű HMV tárolót. Ezen körben is szükséges megadni az előremenő hőmérsékletet (50°C), majd a tároló adatait beállítani. A csonkkialakítás (cirkuláció, HMV elvétel és visszatérő) miatt kevert tárolós modellt választottam, mely szintén a fűtött térbe került felvételre. Az ÉKM rendelet figyelembe veszi a cirkulációs veszteséget is, így a modellezésnél is számoltam cirkulációval, azonban eltérő, részletesebb módszertannal. A hőveszteség meghatározásához a cirkulációs hálózat (fiktív) hosszát lemértem az épületterveken, majd a német DVGW W553 cirkuláció méretezésre is használt szabvány segítségével $q = 11 \text{ W/m}$ fajlagos hőveszteséget feltételeztem a rendszerre (ez szabadon szerelt vezetékek esetén felvehető érték). A vezetékek hosszára 244 m adódott, így összeszorozva a két értéket, majd leosztva azt $\text{COP} = 4,57$ -tel és $0,5$ -tel (ezen utóbbi a csupán reggel 6 és este 6 közötti üzemelés miatt) megkaptam, hogy a pillanatnyi cirkulációs hőveszteség $293,654 \text{ W}$. Ezt a HMV tároló parazita fogyasztásánál adtam meg. A tárolóban legionella elleni fertőtlenítésre elektromos fűtőpatron is felvételre került, azonban az ÉKM rendelet nem tér ki részletesen ennek számítására, így a modellben sem vettem figyelembe fogyasztását. Az elkészült alrendszer kapcsolási sémája a 16. ábrán látható.



16. ábra A használati melegvíz-tároló kapcsolási rajza DesignBuilder-ben (teljes kapcsolási rajz az 7. mellékletben található)

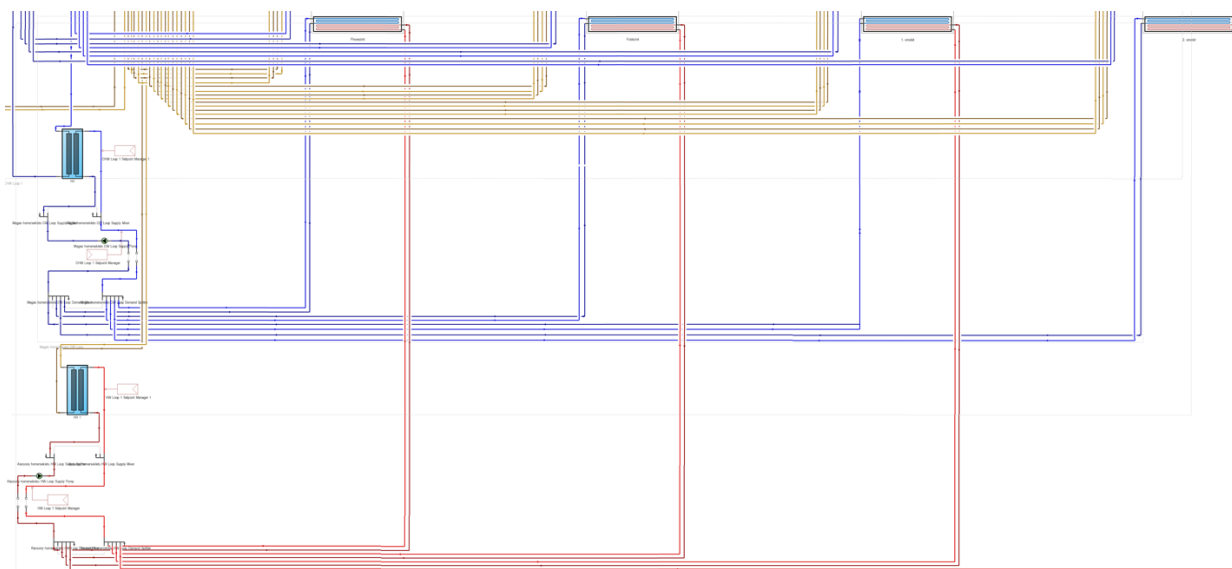
A HMV fogyasztáshoz a csapolók fogyasztási adatait is szükséges felvenni, mely tervezési fázisban levő épület esetében nehéz kérdés. Az egyszerűsített számítás során az MSZ EN 16798-1 szabvány szerinti $100 \text{ l/m}^2\text{év}$ értékű fogyasztással számoltam, melyet a dinamikus szimulációban is felvettem. Jelen számításnál viszont egy korábbi szimulációs futtatás eredménye alapján volt egyszerűbb visszaszámolni az ezen fogyasztáshoz tartozó $\dot{V}_{\max} = 0,0000453 \text{ m}^3/\text{s}$ csúcsfogyasztási értéket, figyelembevéve az ehhez tartozó fogyasztási menetrendet.

Fűtési és hűtési hőleadók

Az osztógyűjtőkről lecsatlakozó következő fogyasztócsoporthoz már a gépészeti zónacsoportokban felvételre került padlófűtési és mennyezethűtési rendszer. Ezek azonban más előremenő hőmérséklettel üzemelnek, így a 8. ábra szerinti kapcsoláson is látható módon visszakeveréssel vannak kialakítva. Ezen funkciót a DesignBuilder-ben folyadék-folyadék hőcserélőkkel lehet modellezni, melyek biztosítani a tudják, hogy a padlófűtésre 55°C helyett csupán 40°C -os, míg a mennyezethűtés esetén 6°C helyett 15°C -os előremenő hőmérsékletek mennek.

A padlófűtés és mennyezethűtés felvételéhez tehát már a zónacsoportok definiálása is szükséges, így ezt szintenként (azaz légkezelőnként) tettem meg. Fontos, hogy a korábban definiált épületszerkezetek esetén a belső hőforrás modellezése legyen bekapcsolva a felületfűtést/hűtést tartalmazó szerkezetekben, illetve hogy a tervek szerinti 150 mm -es osztással, illetve a megfelelő rétegben legyenek felvéve. További fontos feltétel, hogy az EnergyPlus ahhoz a helyiséghez fogja számítani ilyen esetekben a köztes szerkezetben elhelyezett hőleadót, amelyik irányban kisebb a rétegek hőellenállása. Ezt követően már a gépész zónacsoportoknál is beállíthatjuk

a hőleadókhoz tartozó termosztát hőmérsékleteket, melyek télen teljes üzemben 20 °C, csökkentett üzemben 16 °C, nyáron teljes üzemben 26 °C, csökkentett üzemben 32 °C. A csökkentett üzemmódok este 6 és reggel 6 között tartanak, a beépített teljesítmények pedig részletes tervek hiányában automatikus méretezéssel kerülnek megállapításra. Az így felvett alrendszer kapcsolási sémája a **17. ábrán** látható.



17. ábra Hőleadók kapcsolása DesignBuilder-ben (részleteiben lásd 7. melléklet)

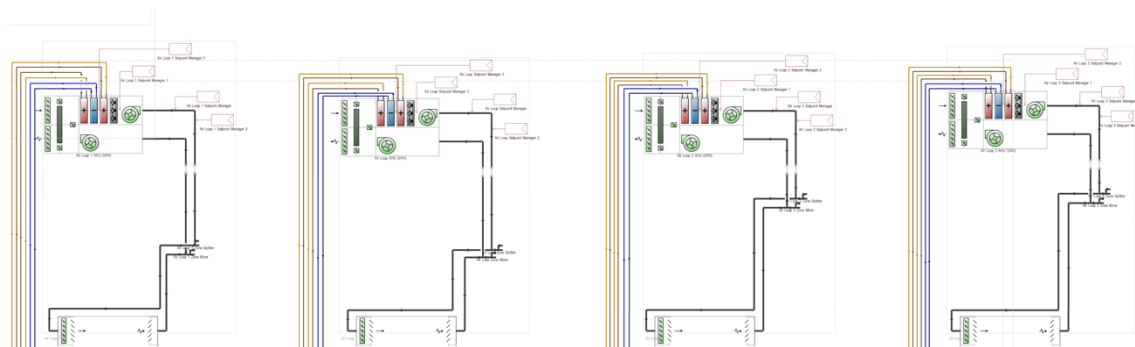
Légtechnikai rendszer

Ezek után az osztó-gyűjtőkről már csak a légkezelőköz tartozó fűtő és hűtő kaloriferek csatlakoznak le, így rátérhetünk a gépi szellőzés modellezési kérdéseire. A setpoint managereknek talán ezen alrendszer esetén van a legkiemeltebb szerepük, ugyanis annak a levegőnek a hőmérsékletét állítják be, mely közvetlenül a helyiségbe jut be (nem pedig a víz közeget).

A légkezelők kapcsolását a tervek szerint alakítjuk ki a DesignBuilder-ben is: hővisszanyerés, előfűtő, hűtő és utófűtő kaloriferek, gőzbeporlasztás, valamint befűvő és elszívó ventilátorok. A különbség a modellben, hogy a szabadhűtés funkció miatt visszakeverés is engedélyezve van, azonban maga a visszakeverés le van tiltva. Ennek oka, hogy a szoftverben csupán így lehetséges a szabadhűtést lehetővé tenni.

A légkezelő párbeszédablakában a tervek szerinti befűjt maximális levegő térfogatáramot adtam meg (kiegyenlített szellőzést feltételezve), a működési menetrendnek pedig a reggel 6 és este 6 közötti időszakot. Hővisszanyerés esetében 75% hatásfokot vettem fel entalpia visszanyerés nélkül, mivel lemezes hővisszanyerő van beépítve. Az ASHRAE 90.1 szabvány szerint kötelező a légtechnikai rendszerekben igény szerinti szellőzést kialakítani, mely jelen esetben CO₂ szabályozáson alapszik – ezt is a légkezelő párbeszédablakban adhatjuk meg, továbbá a gépész zónacsoportok adatainál. A fűtő és hűtő kaloriferek részletes tervek hiányában automatikus méretezéssel kerülnek modellezésre, a ventilátorok adatainál pedig az egyszerűsített számításhoz is megadott 70% ventilátorhatásfokkal és 300 Pa rendszer nyomáscsökkenéssel számoltam.

A zónacsoportokban a gépi szellőzéshez a tervek szerinti VAV-os rendszert szükséges felvenni, melynél meg kell adni a gépész dokumentumok szerinti maximális befűjt levegő térfogatáramát. Ezek után új levegő körök felvételével a zónacsoportok csatlakoztathatók a megfelelő légkezelőkre, mellyel a létrejött alrendszer kapcsolási sémája a **18. ábrán** látható.



18. ábra Légkezelők kapcsolása DesignBuilder-ben

Az ábrán már láthatók a már említett setpoint managerek, melyek 2 fő feladatot látnak el a gépi szellőzésnél. Az egyik fő feladat a nedvesítés-száritás feladatköre, ugyanis setpoint managerekkel adható meg a gőzbeporlasztó által végzett nedvesítés, valamint a hűtő kalorifer által végzett szárítás végértéke. Az ASHRAE szerint gőzbeporlasztás maximum 30%, míg szárítás 70% relatív nedvességtartalomig történhet (a két érték között a helyiségekben lezajló folyamatok szerint alakul a relatív nedvességtartalom). A setpoint managerek másik fő feladata a levegő hőmérsékletének beállítása, melyet jelen esetben úgy modelleztem, hogy a légkezelő szabályozása mindig az ellátott zónák átlagos igényei alapján kalkulálja a befűjt levegő hőmérsékletét.

Gépészeti zónacsoportok

A kapcsolási séma kialakítása után a gépész zónacsoportok beállításai is befejezhetők. A termosztát menetrendek télen teljes üzemben 20 °C, csökkentett üzemben 16 °C, nyáron teljes üzemben 26 °C, csökkentett üzemben 32 °C. A csökkentett üzemmódok este 6 és reggel 6 között tartanak. A zónacsoportok párbeszédablakában szükséges bekapcsolni a nedvesítési, szárítási folyamatokat, melyek esetén a menetrendeket is szükséges megadni: rendre 30% relatív páratartalom és 70% relatív páratartalom. A CO₂-re szabályozás (igény szerinti szellőzéshez) is itt kapcsolható be, a CO₂ koncentráció maximumának 900 ppm, minimumának 400 ppm került beállításra. Ezek mellett a külső levegő térfogatáram meghatározásának módszerét a belső levegő minőség szerintire szükséges átállítani, majd végül az HVAC fülön épületszinten be kell kapcsolni a gépi szellőzést az igény szerinti szellőzés modellezéséhez.

Napelemes rendszer

A tanúsítandó épület utolsó felvételre kerülő épülettechnikai rendszere a napelemes rendszer. Ehhez a tetőfelépítmény tetejére helyeztem el egy 10 komponens blokkból álló napelemes mezőt, melyhez a WinWatt szerinti 11,375 kWp beépített teljesítményt rendeltem. A napelemek panelelnként is kirajzolhatók lettek volna, azonban modellezési szempontból praktikusabb volt az összevonás a gyorsabb szimuláció miatt. A napelemes paneleket egyetlen inverterhez rendeltem hozzá.

5.3. Referenciaépület

A tanúsítandó épület modelljének létrehozása után már létrehozható a referencia épület modellje is a szoftverbe beépített referenciaépület varázsló segítségével. Ezen varázsló részben a tervezett épület, részben pedig az ASHRAE 90.1-2016 G függeléke alapján automatikusan felépíti az épület modelljét. Az ÉKM rendelet szerinti tanúsítás során némi manuális felülbírállással használható ez a funkció.

A tervezett épületből örökli például a fogyasztói profilokat és egyéb használatot jellemző adatot (jelenlét, világítás, irodai berendezések fogyasztása, előírt hőmérsékletek, légcsereszám, HMV nettó igénye), hiszen a két épület közötti megtakarítás nem a felhasználás közötti különbségből szabad, hogy származzon. Ez egybevág az ÉKM rendelet előírásaival, így itt nincsen

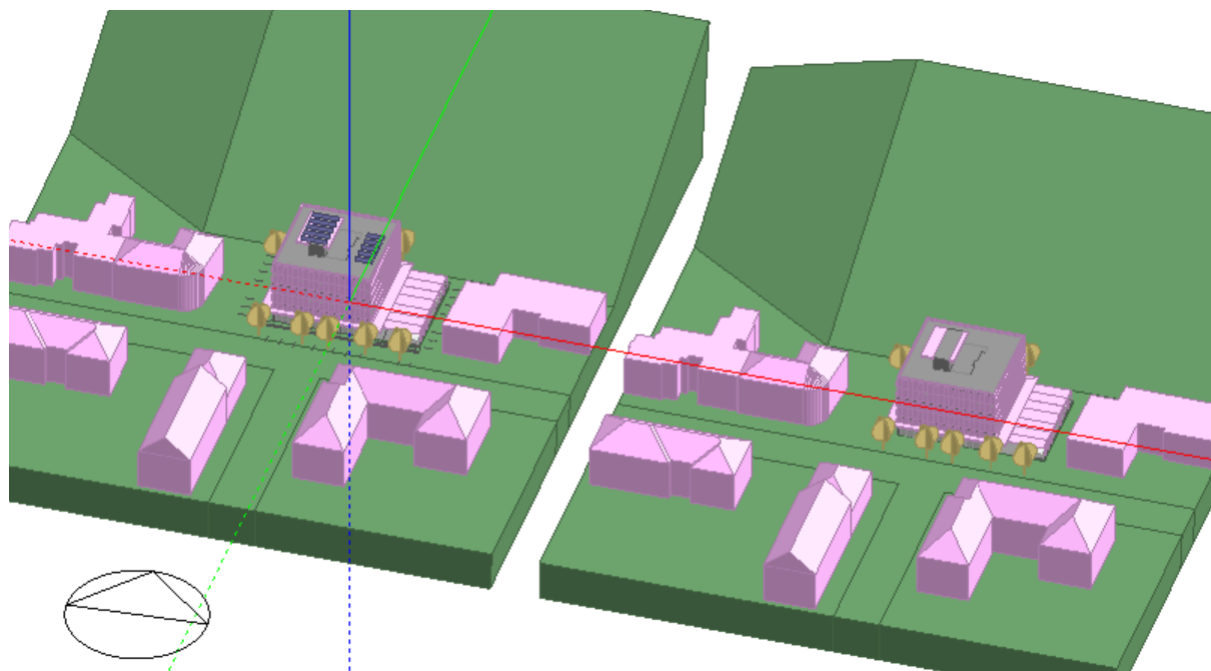
szükség kézi beavatkozásra. Ezek mellett minden, amire nem tér ki az ÉKM rendelet szövege a referenciaépület definiálásánál, mint a tanúsított és a referencia épület közötti szükséges különbség, ott azonos jellemzőkkel kell élni a szimuláció során.

A referenciaépület varázsló megnyitásakor a párbeszédablak ismerteti a referenciaépület alapvető tulajdonságait, melyek közül az ablak-fal arányt módosítani szükséges. Az ASHRAE szerinti referenciaépületben ugyanis a referenciaépület maximális ablak-fal aránya tájolásonként 40%, míg tetőfelülvilágító esetén 5%. Ehhez képest az ÉKM rendelet 50% maximális ablak-fal arányt engedélyez, valamint 30% arányt a tetőablakok és tetőfelülvilágítók esetén.

Ezen értékek átállítása azonban csak a LEED v4 verzió esetén lehetséges (a korábban beállított LEED v4.1 helyett), ezen verzió referenciaépület varázslóját ugyanis más minősítési rendszerek is használják (pl. a Kanadai NECB, azaz a kanadai nemzeti épületenergetikai szabályzat). Így a telek szinten a régió fölött a kötelező energiaszabványt az ASHRAE 90.1-2016-ról az ASHRAE 90.1-2010-re szükséges állítani, mely elérhetővé teszi a LEED v4 minősítésre váltást. Ezek után a referenciaépület varázsló ablakában átírhatók az ablak-fal arányok: vagy az engedélyezett maximális értékre, ha a tanúsítandó épület arányai azokat meghaladják, vagy ha nem haladják meg, akkor pedig a tanúsítandó épület valós ablak-fal arányaira. Ezek után létrehozható a referenciaépület.

Árnyékolók

A referenciaépület létrehozásakor rögtön szembetűnő különbség, hogy az így (ASHRAE szerint) létrehozott épületen semmiféle árnyékoló szerkezet nem kerül felvételre, azonban az ÉKM rendelet erről vonatkozóan nem ír, mint különbség a két épület között. Emiatt ezen árnyékolókat utólag kézzel szükséges importálni egy külső fájlból, mely importálás után a blokkokat a hordozó épülettől a referenciaépülethez szükséges átcsoportosítani, majd törölni a hordozó épületet. Hasonlóan kell eljárni a környezet (épületek, növények) bemásolásakor is, az ÉKM rendelet szerint ugyanis ezeket a tanúsítandó épület szerint szükséges modellezni. Az egy fájlban, egymás mellett modellezett tanúsítandó és referencia épület nem árnyékolják egymást, szimuláció során a nem modellezett épület hatása nem kerül figyelembevételre. Ezek felvétele után az a **19. ábrán** láthatók a tanúsítandó és a referencia épület modelljei.



19. ábra A tanúsítandó (bal oldali) és referenciaépület (jobb oldali) modelljei

Épületszerkezetek

Különbség azonban a két épület között az ASHRAE 90.1 előírásai miatt az, hogy a referencia épületet a szoftver a helyszín klímazónájára jellemző épületszerkezettel modellezi. Ehhez képest az ÉKM rendelet az Általános követelmények fejezet 1.1 táblázata szerinti hőátbocsátási tényezők felvételét követeli meg a referencia épület esetén. Így a generált referenciaépület szerkezeteit a Model Data Grid View, azaz a szoftver táblázatos megjelenítését használva lehetséges gyorsan és könnyedén kicserélni. Ehhez először a tanúsítandó épület szerkezeteit lemácsolva, azok U értékeit rögzítve a rendelet szerinti értékekhez a szoftver automatikusan módosítja a hőszigetelések vastagságát a megfeleléshez. Majd a táblázatos nézetben ezek után egy új sablont létrehozva a csoportos szerkesztéssel cserélhetők a szerkezetek a felület szintre navigálva. A talajon fekvő padló esetén az ÉKM rendelet szerinti $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ egyenértékű hőátbocsátási tényezőt vettem fel. Az üvegezett szerkezetek esetén hasonlóan szükséges eljárni, az ablakok sugárzásátbocsátási képességére a rendelet szerinti $0,55$ -öt vettem fel téltre, hűtés esetén pedig meg kell felelni a nyári hővédelemnek.

Napelemes rendszer

További eltérés az ASHRAE 90.1 szerint generált referenciaépület és a tanúsítandó épület között, hogy a napelemes rendszert is törli a varázsló az épületről. Viszont mivel az ÉKM rendelet nem rendelkezik a referencia épület megalkotásánál a napelemes termelésről, így a rendelet azon pontja lép érvénybe, mely szerint minden - különbséggént nem említett – jellemzőt a tanúsítandó épület szerint szükséges felvenni. Ezek alapján az ÉKM rendelet szerinti referencia épület esetén is ugyanaz a napelemes rendszer üzemel, mint a tanúsítandó épületnél. Ezt utólag szükséges lenne visszamásolni a tanúsítandó épületről (mivel a varázsló törli), azonban ehelyett egyszerűen a tanúsítandó épület napelemes termelését veszem figyelembe a referencia épületnél (mivel teljesen ugyanaz a rendszer). Ennek oka, hogy a szimulációs idő így jelentősen lerövidíthető a referenciaépület esetében.

Épülethasználat, egyéb szempontok

Az infiltrációra a rendelet szerint jó légzárású ablakokat kell feltételezni, így $n_{\text{inf}} = 0,06 \text{ 1/h}$ értéket vettem fel. A nyári természetes szellőzésre ugyanazt kell feltételezni, mint a tanúsítandó épület esetében, így mivel ott sincs természetes szellőzés, a referencia épületben sem vettem fel. A tanúsítandó épület, valamint a referenciaépület esetén a varázsló használatakor megegyezik a zónák felosztása is, mely szintén megfelel az ÉKM rendelet előírásának. A szakaszos üzem miatti korrekciós tényezőt pedig részletesen veszi figyelembe a dinamikus szimuláció.

Fűtési rendszer

A referenciaépület épülettechnikai rendszereinek felvételekor viszont a LEED-féle referencia gépészet varázsló használata helyett a tanúsítandó épület gépész kapcsolási sémájának sablonként mentését célszerűbb elvégezni, majd azt beolvasni a referenciaépületnél. Ennek oka, hogy az ÉKM rendelet esetén a nem említett rendszerelemek a tanúsítandó épületével azonosnak feltételezendők, így a sok azonosan rögzítendő paraméter miatt egyszerűbb a tanúsítandó épület kapcsolásából kiindulni.

Az ÉKM rendelet szövege szerint a hőtermelő helyét a tanúsítandó épületével azonosan kell felvenni, azaz az egyszerűsített számításnál is megadott fűtött teret lenne szükséges beállítani. Ennek beállítása a puffertartályoknál (tanúsítandó épület esetén) megtehető, azonban a hőtermelő esetén csupán szkript írásával lehetne ezt figyelembe venni. A referencia rendszer feltételezett hőtermelője központi kondenzációs gázkazán, fűtési puffertartály pedig nincs a rendszerben. A fűtött téren belül elhelyezett kondenzációs gázkazán hatásfokát az ÉKM rendelet 1. függelékének 8.2. táblázata alapján vettem fel.

A 2500 m² rendszeralapterülethez tartozó teljesítménytényezőt felhasználva ennek (1,01) reciprokából kaptam az $\eta = 0,99$ értéket. Ezt adtam meg a fűtést ellátó kondenzációs gázkazánál. A gázkazán teljesítményét automatikus méretezéssel számoltattam a szoftverben.

Központi fűtés miatt a vezetékek nyomvonala a tanúsítandó épülettel azonosan modellezendők, azonban ennek megadása is szkript írását igényelni, mellyel jelen vizsgálatban nem foglalkoztam (alapértelmezetten adiabatus csővezetékek). A fűtési rendszer szabályozását tekintve a hőtermelő szabályozása központi előremenő hőmérséklet-szabályozással és helyiségenkénti hőmérséklet-szabályozással történik. Ezek setpoint manager-ekkel megadott előremenő hőmérséklet menetrendekkel, valamint a gépész zónacsoport párbeszédablakában beállított termosztát hőmérsékletekkel vehetők figyelembe. A közepes méretezési hőmérséklet különbség 55 °C / 45 °C, melyet szintén a setpoint manager-ek hőmérséklet menetrendjével lehetséges felvenni. A referencia rendszer hőleadói (vizes) radiátorok, helyiségenként szabályozással, melyet szintén a gépész zónacsoportok párbeszédablakában beállított termosztát hőmérsékletekkel állíthatunk be. A radiátorok párbeszédablakában adtam meg a közepes hőmérsékletükre 55 °C értéket. A beszabályozottság mértéke a DesignBuilder-ben nem kerül részletesen modellezésre, ugyanis a szoftver teljesen beszabályozott rendszert feltételez. A fűtési keringtető szivattyú energiahatékonysági mutatója helyett a szivattyú részletesen kerül modellezésre.

Használati melegvíz ellátó rendszer

A referencia épület HMV rendszerének hőtermelője szintén egy központi kondenzációs gázkazán, melyet azonban a DesignBuilder-ben egy külön hőtermelőként vettem fel, hiszen az ÉKM különböző hatásfokokat ír elő a fűtési és HMV esetben. A rendelet 1. függelékének 9.3.1.2. táblázata alapján hasonlóan jártam el a fűtési kondenzációs gázkazán hatásfokának megállapításakor.

A 2500 m² rendszeralapterülethez tartozó teljesítménytényezőt felhasználva ennek (1,09) reciprokából kaptam az $\eta = 0,92$ értéket. Ezt adtam meg a használati melegvíz termelést ellátó kondenzációs gázkazánál. A HMV tároló indirekt fűtésű tároló fűtött térben elhelyezve, így a tanúsítandó épület esetével megegyező kevert tárolót vettem fel fűtött zónához rendelve. A cirkulációs hőveszteséget is a tanúsítandó épülettel megegyezően modelleztem, míg a cirkulációs szivattyút részletesen modelleztem annak energiahatékonysági mutatójának megadása helyett. A vezetékek elhelyezkedését jelen esetben sem lehetséges szkript írás nélkül meghatározni.

Légtechnikai rendszer

A tanúsítandó épületben van gépi szellőzés, így a referencia épületben is szükséges figyelembe venni. A referencia épület légkezelőjében nincsen fűtő kalorifer (léghevítő, előfűtő), így a légkezelőből ezeket kitöröltem. A befűjt térfogatáramok a tanúsítandó épülettel megegyeznek, ezeket a légkezelőknél és a helyiségek VAV egységénél adtam meg. A légtechnikai vezetékek ellenállása is azonos a tanúsítandó épületével (ezt a ventilátorok nyomásemelésénél lehet figyelembe venni), valamint a légtechnikai rendszer üzemideje is a tanúsítandó épülettel megegyező (reggel 6 és este 6 között). A referenciaépületben a szellőzőrendszerben 50% hatásfokú hővisszanyerő van beépítve, mely csak fűtésnél üzemel, a nyári időszakban ki van iktatva. Ezt a hővisszanyerő adatainál annak elérhetőségi menetrendjével adtam meg (április 15. és október 15. között nem elérhető). A légszűrő hőszigeteltsége és nyomvonala (fűtött/fűtetlen tér) nem modellezhető jelen rendszer esetében sem szkript írás nélkül.

Hűtési rendszer

A referencia épület gépi hűtését azon helyiségekben kell feltételezni, amely helyiségekben a tanúsítandó épületben is van – jelen esetben minden helyiségben van hűtés. A hőleadók 6/12 °C-os fan coilok, a szoftverben ezek felvételekor az alapértelmezetten felvett fan coilok fűtőegységének 0 W teljesítményt szükséges megadni (így lehet kiiktatni a fan coilokkal fűtés funkciót, mivel az radiátorokkal történik). A hűtési rendszer hűtőgépének SEER értékét az ÉKM

rendelet 2.7.3.2. táblázata alapján (víz-víz hűtőgép esete) szükséges felvenni a tanúsítandó épület hűtőgépének névleges teljesítményének függvényében.

A tanúsítandó épület hűtőgépének névleges teljesítménye 400 kW alatti, így az SEER = 5,1 értéket vettem figyelembe. Ezt a DesignBuilder-ben a víz-víz hőszivattyúnál a hűtési teljesítmény és a felvett teljesítmények hányadosával lehetséges figyelembe venni.

Beépített világítás

A referencia világítási rendszer esetén üvegbúrás, parabolatükrös, nem dimmelhető LED, kézi be- és kikapcsolással. Az üvegbúrás jellemzőt az ÉKM rendelet szerint $\eta = 0,5$ fényforrás hatásfokkal lehet figyelembe venni, a LED-es lámpatestet $FH = 120 \text{ lm/W}$ fényforrás fényhasznosítással lehetséges modellezni. Ezen értékekből az (1) egyenlet szerinti képletből megkapható, hogy a beépített világítás energiaigénye $P_j = 8,333 \text{ W/m}^2$, ami az ASHRAE irodaépületekre megadott maximális $8,5 \text{ W/m}^2$ energiasűrűségével összeegyeztethető, így a modellezésnél $8,5 \text{ W/m}^2$ értékkel számoltam. A nem dimmelhető funkció a lighting control, azaz a nappali fény szabályozás kikapcsolásával modellezhető (csak így lehetséges kikapcsolni a fokozatos fényerő szabályozást), míg a kézi be- és kikapcsolás funkciót a menetrendek megadásával lehetséges figyelembe venni.

A szimuláció indítása előtt a szimulációs beállításoknál fontos átállítani az árnyékolási módot minimálisról teljesre, ugyanis az ASHRAE 90.1 szerint nem vehető figyelembe semmilyen árnyékolás a referencia épületnél (ez ellentmond az ÉKM rendeletnek). Továbbá az ASHRAE 90.1 szimuláció futtatása helyett külön szükséges futtatni a tanúsítandó és a referenciaépületet normál szimulációt használva, az ASHRAE 90.1 szerinti szimuláció ugyanis nem alkalmas az ÉKM rendelet szerinti tanúsításhoz. Mindezek után már elvégezhető a dinamikus szimulációs számítás.

6. EREDMÉNYEK FELDOLGOZÁSA

6.1. Egyszerűsített energetikai számítás eredményei

A számítások módszertanának bemutatása után először az egyszerűsített számítás eredményeit mutatom be. A WinWatt szoftver kézi számítás nélküli főbb eredményeit az **5. táblázat** foglalja össze:

5. táblázat Energetikai jellemzők eredményei egyszerűsített számítással

Jellemző	Számított érték	Követelményérték	Referenciaérték	Megfelel?	Besorolás
Összesített energetikai jellemző [kWh/m ² év]	102,12	163,93	204,92	Megfelel	A ⁺ ₂₀₂₃ (62,3%)
Fajlagos szén-dioxid kibocsátás [kg/m ² év]	21,55	37,83	47,29	Megfelel	A ⁺ ₂₀₂₃ (57,0%)
Nyári hővédelem mutatója	0,136	0,3	-	Megfelel	-
Fajlagos hővesztésgtényező [W/m ² K]	0,042	0,152	-	Megfelel	-

Az épülettechnikai rendszerek besorolása a nem megújuló forrásból származó primer energiafelhasználás alapján pedig a **6. táblázatban** látható:

6. táblázat Épülettechnikai rendszerek eredményei egyszerűsített számítással

Rendszer	E_{ren} [kWh/év]	$E_{\text{ren,ref}}$ [kWh/év]	$E_{\text{ren}}/E_{\text{ren,ref}}$ [%]	Minősítés
Fűtési és légtechnikai rendszer	119 390	234 230	51,0	Kiváló
Melegvíz ellátó rendszer	6 228	12 576	49,5	Kiváló
Hűtési rendszer	56 301	104 680	53,8	Kiváló
Világítás	84 712	103 690	81,7	Kiváló

Az épületszerkezetek hőátbocsátási tényezőinek megfelelését a tervek felülbírálsakor megtettem. Ezek nem kerülnek ismételten bemutatásra, hiszen így minden szerkezet megfelel a 9/2023. ÉKM rendelet szerinti rétegtervi hőátbocsátási tényezőre vonatkozó követelményeknek.

Az irodaépület gépi szellőzést ellátó légkezelőiben azonban gőzbeporlasztó egység is üzemel, melyet a rendelet szerint részletes számítással szükséges figyelembe venni az MSZ 16798-1 szabvány szerint, vagy ezzel egyenértékű számítási módszerrel. A szimuláció során a légnedvesítést legfeljebb 30% relatív levegő nedvességtartalomig, míg a szárítást legalább 70% relatív páratartalomig szabályozva vettem figyelembe (az ASHRAE 90.1-2016 szabványnak megfelelően). A tanúsítandó épület esetén így 43 342 kWh/év, míg a referenciaépület esetén 34 817 kWh/év végső energiafelhasználás adódott gőzbeporlasztásra. Így a dinamikus szimulációval számított légnedvesítés energiafogyasztását is figyelembevéve az alábbiak szerint alakulnak a tanúsítás eredményei (7. és 8. táblázat).

7. táblázat Energetikai jellemzők eredményei gőzbeporlasztással, egyszerűsített számítással

Jellemző	Számított érték	Követelményérték	Referenciaérték	Megfelel?	Besorolás
Összesített energetikai jellemző [kWh/m²év]	144,82	183,44	229,30	Megfelel	A ⁺ ₂₀₂₃ (63,2%)
Fajlagos szén-dioxid kibocsátás [kg/m²év]	40,12	49,76	62,21	Megfelel	A ⁺ ₂₀₂₃ (80,6%)
Nyári hővédelem mutatója	0,136	0,3	-	Megfelel	-
Fajlagos hővesztésgtényező [W/m²K]	0,042	0,152	-	Megfelel	-

8. táblázat Épülettechnikai rendszerek eredményei gőzbeporlasztással, egyszerűsített számítással

Rendszer	E _{ren} [kWh/év]	E _{ren,ref} [kWh/év]	E _{ren} /E _{ren,ref} [%]	Minősítés
Fűtési és légtechnikai rendszer	219 076	317 253	69,1	Jó
Melegvíz ellátó rendszer	6 228	12 576	49,5	Kiváló
Hűtési rendszer	56 301	104 680	53,8	Kiváló
Világítás	84 712	103 690	81,7	Kiváló

A kézi számításkor is a 176/2008. (VI. 30.) Kormányrendelet alapján jártam el a besorolások meghatározásakor, figyelembe véve a rendelet 3., 4., valamint 5. mellékletében szereplő táblázatokat. A gőzbeporlasztás jelentős fogyasztását figyelembe véve az épület fűtési és légtechnikai rendszerének besorolása kiszorult a kiváló kategóriából, míg az épület besorolásaiban nem történt változás. Fontos megjegyezni, hogy a gőzbeporlasztás számítása a légkezelő egység többi elemétől is függ, mivel a levegő kezelésnek folyamatában a fűtő- és hűtő kaloriferek is részt vesznek.

6.2. Dinamikus szimuláció eredményei

Az egyszerűsített számítás eredményei után a dinamikus szimuláció eredményeinek kiértékeléséhez először a DesignBuilder eredményeinek ÉKM rendelet szerintihez megfeleltetés, illetve néhány esetben kézi számítás szükséges. Ezen utóbbiak közé tartozik a fajlagos hővesztésgtényező meghatározása, valamint a nyári hővédelem mutatójának ellenőrzése. Ezek ugyanis „hazai sajátosságok”, melyeket a nemzetközi gyakorlat nem ismer – s így az EnergyPlus sem.

A fajlagos hővesztésgtényező meghatározása tehát (részben) kézi számításon alapszik, a (4) egyenlet alapján:

$$q = \frac{1000}{V \cdot \Delta t} \sum_{nov}^{márc} \frac{Q_{tr,F} - \eta_F(Q_{sd,F} + Q_{sid,F})}{\theta_{i,F} - \theta_{e,átlag}} \quad (4)$$

A képletben szereplő Δt értéke 3624 óra, ugyanis az összegzést november – március hónapok értékeire kell elvégezni (téli időszak). A fűtött térfogat (V) értéke 13 210,2 m³, a Q_{sd} sugárzási nyereség értékét pedig a tanúsítandó épület november 1. és március 31. között futtatott szimulációból kapjuk meg kWh értékben az adott időszakra. A Sensible Heat Gain, azaz a hőnyereségek táblázatból kinyert érték 61 406,4 kWh az időszakra. Az η_F hasznosítási tényező értékét 1-nek vettem fel, ugyanis a dinamikus szimulációban a sugárzási nyereség hasznosulása részletesen kerül figyelembevételre. A transzmissziós hőátvitel fűtés esetén a lehűlő szerkezetek U értékeinek és azok felületének szorzatával határozható meg (figyelembe véve a hőhidak hatását is), melyhez az Envelope Summary, azaz a szerkezetek összefoglaló táblázata nyújt segítséget. A belső tér fűtési parancsolt hőmérséklete ($\theta_{i,F}$) 20 °C, míg a külső havi átlaghőmérsékletek az ÉKM rendelet 2. függelékének 1.1. táblázata szerinti értékek. Az ezek alapján számított hőveszteségtényező 0,033 W/m³K.

A hőveszteségtényező értékének megfelelését ellenőrizni is szükséges, melyet az rendelet 3. mellékletének 1.2 pontja alapján a felület-térfogat arány alapján tehetünk meg. A fajlagos hőveszteségtényező megengedett értéke ugyanis az A/V arány függvényében határozható meg a **9. táblázat** szerint:

9. táblázat A fajlagos hőveszteség-tényező megengedett legnagyobb értéke

	A	B
1	$A/V \leq 0,3$	0,18 W/m ³ K
2	$0,3 \leq A/V \leq 1,3$	$0,078 + 0,34 \cdot (A/V)$ W/m ³ K
3	$A/V \geq 1,3$	0,52 W/m ³ K

A fűtött térfogat értéke könnyen kinyerhető (13 210,2 m³), azonban a lehűlő felület meghatározásához a szimulációs eredmények közül az Envelope Summary, azaz a határoló szerkezetek összegző eredményeit szükséges alaposan kiértékelni. Ezen táblázatokról ugyanis az összes lehűlő szerkezet felülete kinyerhető, ezeket összegezve megkapható a teljes lehűlő felület. Így az épület felület-térfogat aránya 0,296 m²/m³, tehát a fajlagos hőveszteségtényező követelményértéke 0,18 W/m³K, melynél a 0,033 W/m³K kisebb, így a követelmény teljesül.

A másik összetettebb kézi számítást igénylő feladat a nyári hővédelem ellenőrzésre, mely az (5) egyenlet szerint történik:

$$\frac{\sum_i A_{ü,i} \cdot g_{H,i} \cdot g_{árny,H,i} \cdot F_{árny,i}}{\sum A_{ü}} \leq 0,3 \quad (5)$$

Ezen hányados meghatározásához szintén a szerkezetek összefoglaló táblázatából nyerhetők ki a szükséges adatok: A_ü a transzparens szerkezet felülete (tájékolásonként összegezve), g_H a transzparens szerkezet összesített sugárzásátbocsátó képessége (minden szerkezet esetén 0,344), g_{árny} pedig a társított árnyékoló szerkezet sugárzásátbocsátási képessége (minden esetben 0,33). A táblázatok adatainak felhasználásával 0,114 értéket kaptam, így megfelel az épület nyári hővédelem szempontjából is.

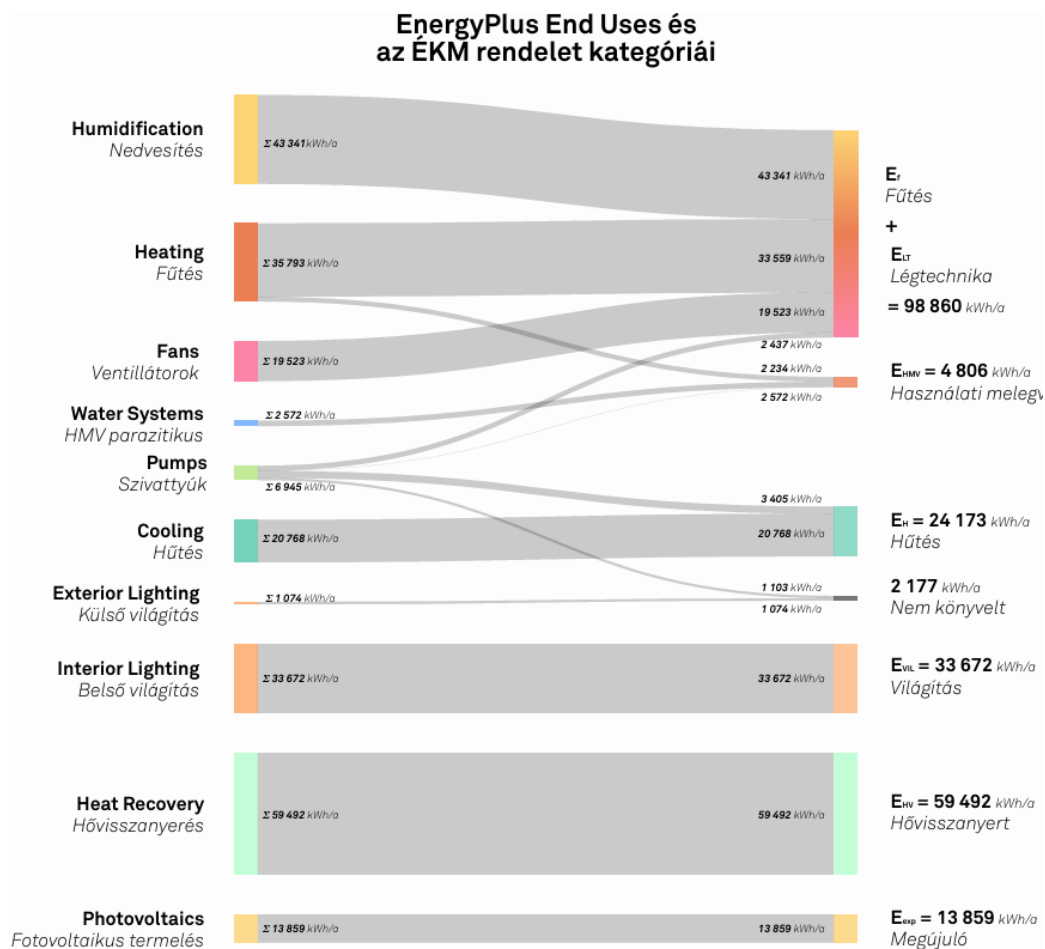
Kézi számítást ugyan nem igényel, azonban manuálisan szükséges besorolni az épületszerkezeteket is a 176/2008. (VI. 30.) Kormányrendelet értelmében. A nehézség, hogy a DesignBuilder-ben a rétegrendeket a WinWatt szerinti hőhidak hatása miatti lerontott hőátbocsátási tényezőre vettem fel (illetve padló esetén az ISO 13370 figyelembevételével), viszont a besorolásnál a rétegtervi értékek szerint kell eljárni. Így a DesignBuilder-ben felvett U értékeket leosztottam a WinWatt szerinti rontó tényezőkkel, melyekkel a **10. táblázat** szerinti besorolásokat kaptam.

10. táblázat Épületszerkezetek minősítései

Szerkezet neve	U_{rontott} [W/m ² K]	$U_{\text{visszaszámolt}}$ [W/m ² K]	Minősítés
P.01 TALAJON FEKVO FODEM	0,316	0,140	kiváló
FK.04 TETO FELÉPÍTMÉNY HOML. FAL	0,179	0,149	kiváló
T.02 TETOFELEPITMENY KONZ. TETO	0,192	0,160	kiváló
FK.01 PINCEFAL	0,128	0,128	kiváló
T.03 JARHATO BURKOLT TETO	0,123	0,103	kiváló
FK.03 HOMLOKZATI FAL FA GERENDÁN	0,121	0,105	kiváló
FK.02 ELOREGYÁRTOTT KITÖLTŐFAL	0,087	0,067	kiváló
T.01 INTENZIV ZOLDTETO ALMENYEZETTEL	0,100	0,087	kiváló
T.01 INTENZIV ZOLDTETO	0,101	0,088	kiváló
Ablak	0,818	0,818	jó
UVEGAJTO	0,832	0,832	jó

A dinamikus szimulációs módszertan következő, egyben talán legösszetettebb feladatköre az eredmények ÉKM rendelet szerinti végfelhasználási céloknak megfeleltetése. A Design-Builder-ben ugyanis a szimulációs eredmények megtekintésekor vannak olyan fogyasztási adatok, melyek rejtetten jelennek csak meg, azaz más végfelhasználási kategóriában szerepelnek, mint ahogyan azt az ÉKM rendelet értelmezné. A legalapvetőbb példa erre a HMV fogyasztásának kinyerése, mely az End Uses, azaz a végfelhasználások összesítő táblázatában nem a Water Systems (azaz HMV ellátás) kategóriában, hanem a Heating (azaz fűtés) kategórián belül jelenik meg. Ennek oka, hogy az épület gépészeti rendszerének kapcsolásából adódóan nincsen kijelölt hőtermelő külön a HMV ellátásra. A 4 db talajszondás hőszivattyú ugyanis egyetlen közös fűtési pufferre termeli a hőt, melyről szintén egyetlen osztó-gyűjtő csatlakozik le szekunder oldalon. Erről az osztó-gyűjtőről csatlakoznak le a padlófűtési körök, a légkezelők fűtőkaloriferjeinek körei, valamint a HMV kör is. Így sem a hőtermelőknél, sem a puffertartályban nem lehet elkülöníteni, hogy az összes fűtési fogyasztásból mennyit igényel a HMV, ez csupán közvetlenül a HMV tartálynál mérhető érték. Ehhez viszont a DesignBuilder-ben szkriptek segítségével új kimenetet szükséges generálni, logikusan a HMV tartályt ellátó csővezeték tartályba be- és kilépő csonkjain szükséges lekérni az órás bontású tömegáram és hőmérséklet adatokat. Ezekből ugyanis órai bontásban kiszámolható a fajhő ismeretében a HMV fogyasztása az (1) egyenlettel majd ezt összegezve az évi 8760 órára (figyelembevéve a hőszivattyúk COP értékét) megkaphatjuk a HMV éves fogyasztását.

A HMV mellett a Pumps, azaz a szivattyúk fogyasztását is kategorizálni kell, melyet az egyes szivattyúkra lebontott fogyasztási adatok alapján lehetséges megtenni: fűtési szivattyú (3 db), hűtési szivattyú (3 db), HMV szivattyú (1 db), talajkörü szivattyú (1 db). Hasonló problémakör a ventilátorok (Fans) és a gőzbeporlasztás (Humidification) kategorizálása, melyek az ÉKM rendelet értelmében a Fűtési és légtechnika rendszer fogyasztásához sorolandók. A különböző végfelhasználások összeegyeztetésére az alábbi Sankey diagram készült a tanúsítandó épület esetére, végső energiafelhasználásban ábrázolva (**20. ábra**):



20. ábra Az EnergyPlus End Uses összefoglaló táblázatának kategóriái, valamint az ÉKM rendelet megfeleltetése (az 9. mellékletben nagyfelbontású változat található)

Az épülettechnikai rendszerek ezen rendszerezés után már minősíthetők lennének, azonban a 176/2008. (VI. 30.) Kormányrendelet besorolási módszere alapján a fűtési és légtechnikai, valamint a hűtési rendszerrel még szükség lenne az épület fűtési és hűtési nettó energiaigényére. A besoroláshoz ugyanis ezen két rendszer esetében az adott épülettechnikai rendszer nem megújuló forrásból származó primer energiafelhasználását el kell osztani fűtési rendszer esetén a nettó fűtési, míg hűtési rendszer esetén a nettó hűtési igénytel (egyéb rendszereknél csupán a nem megújuló forrásból származó primer energiafelhasználás alapján történik a besorolás). A nem megújuló forrásból származó primer energiafelhasználás értékei a végső energiafelhasználás értékeinek súlyozó tényezőkké (f_{nren}) vett szorzatával kaphatók kézi számítással. A besorolás számítása a hűtési rendszer példáján:

$$(E_{H,nren}/Q_{H,net})/(E_{H,nren,REF}/Q_{H,net,REF}) \quad (6)$$

Az emeletes tört számlálójában a tanúsítandó, míg nevezőjében a referenciaépület adatai szerepelnek. A besoroláshoz tehát a nettó energiaigények kinyerése a feladat a EnergyPlus eredmények közül, ami azonban sajnos igen körülményes és nehezen kivitelezhető. Az EnergyPlus ugyanis nem értelmez a rendelet szerinti nettó fűtési és hűtési energiaigényt vagy ennek megfeleltethető értéket. Egy komplex dinamikus szimuláció során ugyanis igen nehéz elkülöníteni a gépészetet az épülettől, hiszen szimuláció alkalmazásakor pontosan ezek együttműködése a vizsgálat tárgya. Így a 176/2008. (VI. 30.) Kormányrendelet módszerének ugyan nem teljes

mértékben megfelelő, azonban ezzel egyenértékű módszer használatával egy második féle referenciaépülettel határozom meg az épülettechnikai rendszerek besorolását, mely a tanúsítandó épület szerkezeteivel rendelkezik, viszont a referencia épülettechnikai rendszerekkel üzemel. A nettó igényekkel való osztás célja eredetileg ugyanis az volt, hogy az épülettechnikai rendszerek (így a fűtési és hűtési rendszert is) hatékonysága az épületszerkezetektől függetlenül legyen értékelve. Az általam javasolt módszer is gyakorlatilag ezen elv szerint jár el, melyhez a korábban létrehozott referenciaépület szerkezeteit kell visszacserélni a tanúsítandó épület szerkezeteinek importálásával. Az így kapott új referenciaépületre végzett számítási eredmények alapján végzett besorolást a **11. táblázat** foglalja össze.

11. táblázat Épülettechnikai rendszerek eredményei dinamikus szimulációval

Rendszer	E_{ren} [kWh/év]	$E_{\text{ren,ref}}$ [kWh/év]	$E_{\text{ren}}/E_{\text{ren,ref}}$ [%]	Minősítés
Fűtési és légtechnikai rendszer	227 380	163 492	139,1	Rossz
Melegvíz ellátó rendszer	11 060	18 647	59,3	Jó
Hűtési rendszer	55 640	86 125	64,6	Kiváló
Világítás	77 447	130 956	59,1	Kiváló

Az eredményeken látható, hogy a HMV termelés csupán jó minősítést kapott szemben az egyszerűsített számítás kiváló minősítésével, melynek oka, hogy dinamikus szimuláció során nem az ÉKM rendelet szerinti fajlagos cirkulációs hőveszteséggel (13%) számoltam, hanem részletesen határoztam meg azt. Így jelentősen nagyobb cirkulációs hőveszteség adódott ugyanarra a rendszerre, ami a referenciaépület módszer miatt kiszorítja a rendszert a kiváló kategóriából.

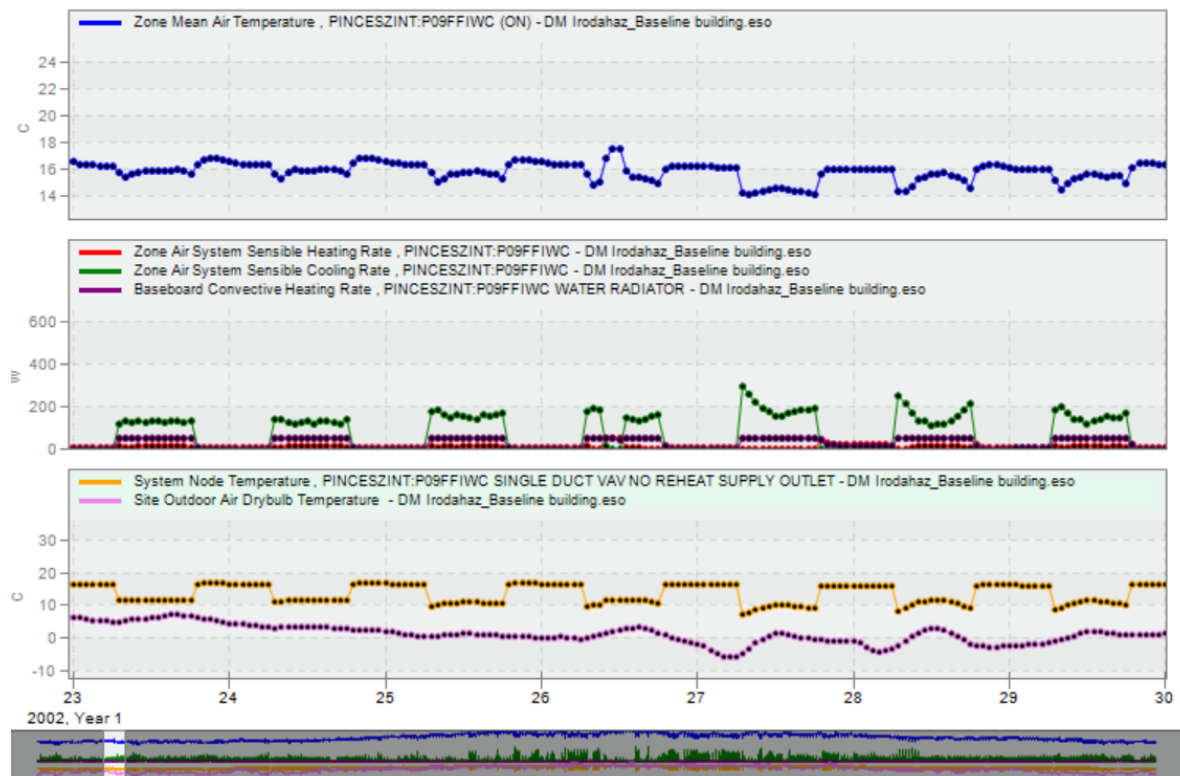
6.3. Felmerülő problémák a tanúsítás során

Egy komolyabb problémát sugall, hogy a fűtési és légtechnikai rendszer minősítése rossz lett, a tanúsítandó épület energiafogyasztása jelentősen meghaladja a referenciaépületét. A WinWatt-tal készített egyszerűsített számítás eredményei alapján előzetesen nem várt eredmény ez, melynek oka a 9/2023. ÉKM rendelet „A referencia épület meghatározása” című alfejezet 2.5.1. pontja. Ez ugyanis az alábbiak szerint szól:

„...nincs a szellőzőrendszerben léghevítő, sem előfűtő, sem talajkollektoros levegő-előmelegítés” [1]

Ez azt jelenti, hogy a referencia épület gépi szellőzést biztosító légkezelőjében nem modellezhető fűtő kalorifer semmilyen formában, ami viszont egy összetett problémát vet fel. A levegőkezelés ugyanis egy komplex folyamatként kezelendő, mely folyamat egyes elemeinek kiiktatásával az egész folyamat végkimenetelére hatással vagyunk. A légkezelőben a tervek szerint ugyanis előfűtő-, hűtő-, utófűtő kalorifer és gőzbeporlasztás is üzemel, mely részegységek együtt „alkotnak” egy folyamatot ahhoz, hogy a külső tér levegőjét a szellőző levegő paramétereire beállítsák. A jelen esetben a referenciaépületben kiiktatott fűtő kaloriferekkel télen a levegő előmelegítése csupán a hőviszanyerővel tehető meg, ami azonban nem elegendő ahhoz, hogy a kívánt befűvási hőmérsékletre melegítse a külső tér levegőjét. Ez azért okoz nagy problémát, mert nemcsak, hogy így csökken a referencia rendszer beépített teljesítménye fűtésnél, hanem a légkezelő még túl is hűti a helyiséget az igény szerinti szellőzésnek köszönhetően. Ez ugyanis azt jelenti, hogy a légkezelő az emberek által termelt CO₂-t mérve úgy üzemel, hogy el tudja érni a kívánt maximális 900 ppm CO₂ koncentrációt. Ehhez azonban gyakorlatilag napközben folyamatosan üzemelnie kell, viszont csak hideg levegőt tud befűjni, amivel télen jelentősen lehűl a belső hőmérséklet (ez az Unmet Load Hours, azaz a kielégítetlen órák számában is meglátszik az eredmények elemzésekor: az évi 8760 órából 2429 óráig nem éri el a rendszer a fűtési parancsolt hőmérsékletet). A referencia épület radiátor hőleadói pedig nem tudják

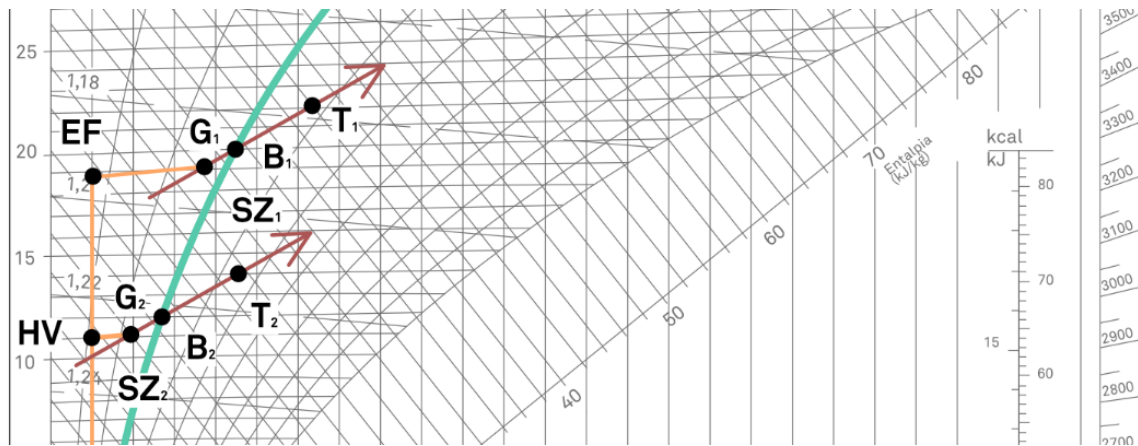
kompenzálni ezt, ugyanis azok automatikus méretezéssel lettek felvéve tervek hiányában. Ehhez az automatikus méretezéshez pedig normál körülményeket vett figyelembe a szoftver, nem számolva a légkezelő abnormális működésével. Ez látható a **21. ábrán** szemléltetve egy mellékhelyiségre.



21. ábra Az igény szerinti szellőzés hibás működése a ResultsViewer eredményei alapján

A legfelső diagramon látható a helyiség hőmérséklete kékkkel, míg az alsó diagramon a külső hőmérséklet lilával és a légtechnikával befűjt levegő hőmérséklete sárgával. Látható, hogy a külső hőmérsékletet jellegre követi a befűjt levegő hőmérséklete, a kettő közötti különbséget a hővisszanyerő előmelegítése okozza. Emiatt nappal a belső hőmérséklet 16 °C környékén alakul az előírt 20 °C helyett, éjjel kicsit magasabb, 18 °C. Ezen utóbbinak az oka, hogy a légkezelő éjjel nem üzemel, míg a kora esti emberi hőterhelés (takarító személyzet), világítási hőterhelés miatt a hőmérséklet vissza tud emelkedni minimálisan, éjjel pedig a talaj felé irányuló hővesztesség körülbelül egyenlő a belső hőterhelések összegével (ezért nem változik jelentősen a belső hőmérséklet éjszaka a vizsgált helyiségben, más helyiségekben ez természetesen vagy minimálisan csökken vagy minimálisan nő). Az alulméretezett rendszerekre az ÉKM rendelet javaslata szerint elektromos fűtést kell feltételezni, azonban ez nem erre a problémára vonatkozik, valamint a plusz elektromos radiátorok behelyezésével sem lenne orvosolható a probléma a korábban említett automatikus méretezés miatt.

Egy további probléma a fűtő kaloriferek elhagyása miatt, hogy ahogy említettem, a levegőkezelés egy több részfolyamatból álló folyamat. Azaz a fűtőkaloriferek kiiktatása a gőzbeporlasztásra is hatással van, melyet a szimulációs eredmények is igazolnak. A tanúsítandó épület esetén ugyanis a gőzbeporlasztás végső energiafelhasználása 43 342 kWh/év, míg a referencia-épület esetén csupán 34 817 kWh/év. Ez igen jelentős különbség, melyhez a **22. ábrán** látható h-x diagram szolgál magyarázatként (a teljes ábra az **10. mellékletben** található).



22. ábra A téli légkezelési folyamat részlete a h-x diagramon (teljes folyamat az 10. mellékletben található)

Az ábrán egyszerre kerül bemutatásra a tanúsítandó és a referenciaépület esetén lezajló téli folyamat. A külső pont (K) a kiindulás, ahonnan a hővisszanyerővel előmelegítjük a levegőt (HV). Eddig a pontig mindkét esetben ugyanúgy zajlott a folyamat, azonban a tanúsítandó (1-es index) esetben ezek után még az előfűtő tovább melegíti a levegőt (EF). Innentől pedig a gőzbeporlasztással (G₁) jutunk el a szellőző pontba (SZ₁), ez lesz az a levegő, amit a helyiségbe juttatunk. Látható, hogy ezzel ellentétben a referencia (2-es index) esetben nincsen előfűtő, így rögtön a gőzbeporlasztás következik (G₂). Azonban a gőzbeporlasztás mindkét esetben csupán 30% relatív páratartalomig üzemel, így a referencia esetben egy eltérő szellőző pontba jut a rendszer (SZ₂), mely nem éri el a kívánt szellőző hőmérsékletet sem (kb. 19 °C). A két ábra közötti lényeges különbség az EF-G₁ és a HV-G₂ szakaszok hossza közötti különbség, mely arányos a gőzbeporlasztás teljesítményigényével, mely pedig arányos a gőzbeporlasztás energiafogyasztásával. A nyári eset h-x diagramja a 11. mellékletben található, ezen esetben nincs szükség gőzbeporlasztásra sem a tanúsítandó, sem a referenciaépület esetében. Fontos megjegyzés az ábrához, hogy ez csupán elvi ábra, valamint egy adott méretezési állapotot tükröz, azonban jól magyarázza a rövidebb HV-G₂ szakasz a kisebb gőzbeporlasztási energiafogyasztást a referencia épület esetében.

A fenti problémák okozta fűtési és légtechnikai rendszer rossz besorolását látván az épület összesített energetikai jellemzője, valamint fajlagos szén-dioxid kibocsátása szerinti besorolását is érdemes megvizsgálni. Ezeket a (6) és (7) egyenlet szerinti összefüggésekkel szükséges meghatározni:

$$E_{nren,fajl} = E_{F,nren,fajl} + E_{H MV,nren,fajl} + E_{LT,nren,fajl} + E_{H,nren,fajl} + E_{vil,nren,fajl} + E_{exp,nren,fajl} \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{év}} \right] \quad (6)$$

$$E_{CO2,fajl} = E_{F,CO2,fajl} + E_{H MV,CO2,fajl} + E_{LT,CO2,fajl} + E_{H,CO2,fajl} + E_{vil,CO2,fajl} + E_{exp,CO2,fajl} \left[\frac{kg}{m^2 \cdot \text{év}} \right] \quad (7)$$

Az EnergyPlus eredményeket tekintve azonban egyszerűbb eljárni úgy, hogy az End Uses, azaz a végfelhasználások táblázat tételei közül kivonjuk a külső világítás és az irodai gépek fogyasztását, majd energiahordozónként szorozzuk fel az ÉKM rendelet 7. melléklete szerinti súlyozó tényezőkkel a végfelhasználást. A fajlagos szén-dioxid kibocsátás meghatározásához az End Uses (végfelhasználások) táblázaton felül a napelemes termelés, valamint a hővisszanyerővel visszanyert környezeti hő értékét is figyelembe kell venni szintén a rendelet szerinti

súlyozó tényezőkkel. Ezen számítás a hűtési rendszer példáján (i index szerinti energiahordozónként):

$$E_{H,sulyozott} = \sum_i Q_{H,vég,i} \cdot F_{\frac{f}{\bar{e}h}} \cdot f_{súly,i} + \sum_i W_{H,vég,i} \cdot f_{súly,i} \left[\frac{kWh}{év} \right] vagy \left[\frac{kgCO_2}{év} \right] \quad (8)$$

A fenti képlet eredményét a rendszer alapterülettel szükséges még fajlagosítani. A többi épülettechnikai rendszerre is ezzel egybevágóan végzendő el a számítás. A számítások eredményeként a **12. táblázat** eredmények adódtak az épületre (a korábban meghatározott fajlagos hőveszteségtényező és nyári hővédelemmel is kiegészítve):

12. táblázat Energetikai jellemzők eredményei dinamikus szimulációval

Jellemző	Számított érték	Követelményérték	Referenciaérték	Megfelel?	Besorolás
Összesített energetikai jellemző [kWh/m²év]	132,58	125,78	157,23	Nem felel meg	B ₂₀₂₃ (105,4%)
Fajlagos szén-dioxid kibocsátás [kg/m²év]	29,91	29,00	36,25	Nem felel meg	B ₂₀₂₃ (103,1%)
Nyári hővédelem mutatója	0,114	0,3	-	Megfelel	-
Fajlagos hőveszteségtényező [W/m²K]	0,033	0,18	-	Megfelel	-

Az összesített energetikai jellemző, valamint a fajlagos szén-dioxid kibocsátás követelményértéke új épületek esetén a referenciaérték 80%-a. Ez alapján látható, hogy az épület nem felel meg sem összesített energetikai jellemző, sem fajlagos szén-dioxid kibocsátás alapján. Tehát az épület nem felel meg a 9/2023. (V. 25.) ÉKM rendeletnek, ha elhagyjuk a fűtő kalorifereket a referencia épületnél.

6.4. A problémák megoldási javaslata

Mindezek alapján a következőkben két módosított referenciaépületet is bemutatok, mellyel ez a problémakör orvosolható lenne, mely javaslatok építenek az ASHRAE 90.1 szabvány szerinti gyakorlatra.

Az első módosított referencia épületnél a légkezelőket teljes egészében a tanúsítandó épület alapján modellezem, azaz a tanúsítandó épület szerinti vizes kalorifert veszek fel mind az előfűtő, mind az utófűtő esetén. Az ASHRAE 90.1 is hasonlóan jár el a légkezelő kaloriferjeinek számításakor, erre a szabvány a G függelékének G3.1.3.19 Preheat Coils (Systems 5 through 8), azaz Előfűtő kaloriferek alpontjában tér ki. A gőzbeporlasztás szempontjából érdekesség, hogy az ASHRAE 90.1-2010 szabványban még nem, azonban az ASHRAE 90.1-2016 szabványban már szerepel a légnedvesítés – ezt a szabvány szerint a tanúsítandó épület szerint kell modellezni a referencia épületben is, a légnedvesítés minősége lehet csupán eltérő (adiabatikus nedvesítés vagy gőzbeporlasztás). Az ÉKM rendelet alapján a gőzbeporlasztást szintén a tanúsítandó épület alapján szükséges felvenni a referencia épületben is.

Az első módosított referenciaépület tanúsítási eredményeit a **13. és 14. táblázat** tartalmazza.

13. táblázat Energetikai jellemzők eredményei dinamikus szimulációval (első módosított referenciaépület)

Jellemző	Számított érték	Követelményérték	Referenciaérték	Megfelel?	Besorolás
Összesített energetikai jellemző [kWh/m²év]	132,58	161,33	201,66	Megfelel	A ⁺ ₂₀₂₃ (82,2%)
Fajlagos szén-dioxid kibocsátás [kg/m²év]	29,91	37,87	47,34	Megfelel	A ⁺ ₂₀₂₃ (79,0%)
Nyári hővédelem mutatója	0,114	0,3	-	Megfelel	-
Fajlagos hőveszteségtényező [W/m²K]	0,033	0,18	-	Megfelel	-

14. táblázat Épülettechnikai rendszerek eredményei dinamikus szimulációval (első módosított referenciaépület)

Rendszer	E_{ren} [kWh/év]	$E_{\text{ren,ref}}$ [kWh/év]	$E_{\text{ren}}/E_{\text{ren,ref}}$ [%]	Minősítés
Fűtési és légtechnikai rendszer	227 380	270 858	83,9	Jó
Melegvíz ellátó rendszer	11 060	18 667	59,2	Jó
Hűtési rendszer	55 640	95 752	58,1	Kiváló
Világítás	77 447	130 956	59,1	Kiváló

A fentiek alapján látható, hogy az épület már megfelel összesített energetikai jellemző és fajlagos szén-dioxid kibocsátás alapján is, valamint mindkét jellemző alapján B besorolás helyett A+ besorolást kapott. Az épülettechnikai rendszerek esetén a fűtési és légtechnikai rendszer így már jó minősítést kapott, valamint minimálisan javult a hűtési rendszer eredménye is (besorolás változás itt viszont nem történt).

A fűtési és légtechnikai rendszer jó besorolása, valamint az épület összesített energetikai jellemző és fajlagos szén-dioxid kibocsátás szerinti értékei még azonban mindig rosszabbak, mint az egyszerűsített számítás esetén kapott eredmények, azaz az előzetes elvárások. Így egy második módosított referenciaépületet is bemutatok elemzésem során.

A második módosított referenciaépület légkezelőinek fűtő kaloriferjei ezúttal nem a tanúsítandó épület szerinti, hanem elektromos kaloriferek mind az előfűtő, mind az utófűtő esetében. A direkt hálózati elektromos fűtés modellezésével a fűtő kaloriferekben várhatóan javulni fog mind az épület, mind a fűtési és légtechnikai rendszer besorolása.

15. táblázat Energetikai jellemzők eredményei dinamikus szimulációval (második módosított referenciaépület)

Jellemző	Számított érték	Követelményérték	Referenciaérték	Megfelel?	Besorolás
Összesített energetikai jellemző [kWh/m²év]	132,58	211,24	264,05	Megfelel	A ⁺ ₂₀₂₃ (62,8%)
Fajlagos szén-dioxid kibocsátás [kg/m²év]	29,91	44,97	56,22	Megfelel	A ⁺ ₂₀₂₃ (66,5%)
Nyári hővédelem mutatója	0,114	0,3	-	Megfelel	-
Fajlagos hővesztégtényező [W/m²K]	0,033	0,18	-	Megfelel	-

16. táblázat Épülettechnikai rendszerek eredményei dinamikus szimulációval (második módosított referenciaépület)

Rendszer	E_{ren} [kWh/év]	$E_{\text{ren,ref}}$ [kWh/év]	$E_{\text{ren}}/E_{\text{ren,ref}}$ [%]	Minősítés
Fűtési és légtechnikai rendszer	227 380	413 194	55,0	Kiváló
Melegvíz ellátó rendszer	11 060	18 669	59,2	Jó
Hűtési rendszer	55 640	96 058	57,9	Kiváló
Világítás	77 447	130 956	59,1	Kiváló

Az eredményeket megtekintve várakozásunknak megfelelően javultak az épület összesített energetikai jellemző, valamint fajlagos szén-dioxid kibocsátás szerinti eredményei (besorolás változás viszont nem történt), emellett a fűtési és légtechnikai rendszer is megkapta a kiváló minősítést.

A két módosított referenciaépület esetén a korábban fennálló alulméretezés problémája is megoldódott, ugyanis az évi 2429 kielégítetlen óraszám helyett már csupán 50 órában nem éri el a rendszer a fűtési parancsolt belső hőmérsékletet. Ráadásul a szimulációs idő is jelentősen lecsökkent a két módosított referencia épület esetén, hiszen az EnergyPlus-nak így sokkal kevesebb iterációt szükséges végrehajtania (az ÉKM rendelet szerinti referenciaépület esetén nem konvergálnak az eredmények, hiszen a rendszer nem képes tartani az általunk kívánt paramétereket). Ez látható a Simulation Manager párbeszédablakáról készített képernyőfelvételen (23):

	Description	File Name	Message	Started	Duration
	DM Irodahaz_Baseline building	1_EKM_rendelet_szerinti_referencia_epulete...	EnergyPlus Completed Successfully	2024-10-27 00:47:19	10:53:05
	DM Irodahaz_Baseline building	2_Tanusitando_epulet_szerinti_futo_kalorifer...	EnergyPlus Completed Successfully	2024-10-27 00:45:15	02:03:42
	DM Irodahaz_Baseline building	3_Elektromos_futo_kaloriferekkel.dsb	EnergyPlus Completed Successfully	2024-10-27 00:43:38	02:00:22

23. ábra A DesignBuilder Simulation Manager-ének párbeszédablaka a futtatási időkhöz

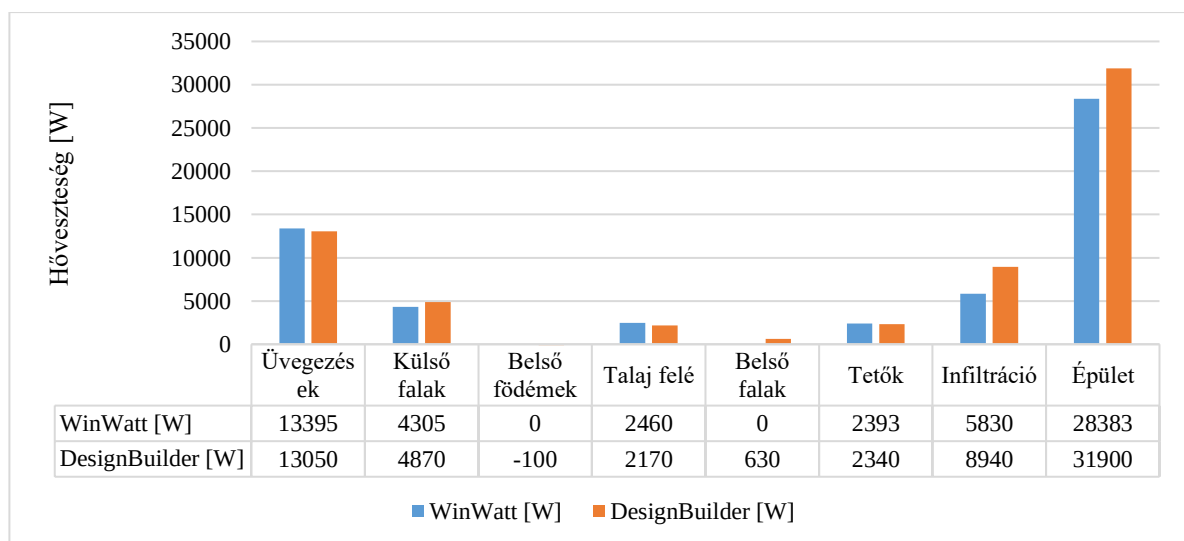
Az ábrához kapcsolódóan fontos megjegyzés, hogy a szimuláció futtatását követően az EnergyPlus számos hibaüzenetet, figyelmeztetést jelez. Számuk nagyságára magyarázat, hogy ezek mind típus hibák, illetve figyelmeztetések, melyek a szimuláció során több objektumnál is előfordulnak az év során több időpontban is. Ezeket megnézve azonban a legtöbb csupán az EnergyPlus által vélt gyanús input paramétereket, vagy esetlegesen hiányzó értékeket jelez – utóbbira viszont komfortparaméterek meghatározásához lenne szükség, mely jelen vizsgálatnak nem tárgya. Továbbá néhány esetben felülbírál a felhasználó által megadott inputot, mely inputok viszont (helyesen) nem kerülnek felhasználásra egyébként sem a szimulációban. Továbbá az automatikus méretezés nehézségei miatt is néhány esetben sok iterációra van szükség, melynek szerepe van az ábrán látható hosszú szimulációs időknél.

7. MÓDOSÍTOTT EREDMÉNYEK ÖSSZEHAJONLÍTÁSA, KONKLÚZÍÓ

7.1. Az eredmények összehasonlítása

A két számítási módszer eredményeinek összehasonlítását már célszerű a számítások során kapott részeredményekkel is megtenni a tanúsítandó épület esetén, ekkor ugyanis egyfajta validációs pontokkal lehetséges ellenőrizni az előrehaladást. Az összehasonlítások során alapvető kiindulási információ, hogy az egyszerűsített számítás belső, míg a dinamikus szimuláció külső méretek figyelembevételével készült. A fogyasztási eredményeket így később az ezt figyelembe vevő alapterületre fajlagosított értékekkel lehet a leginkább összeegyeztetni, melyhez ismertek a két számítás alapján kapott kondicionált alapterületek: az egyszerűsített számításnál 2334,32 m², míg dinamikus szimulációnál 2561,91 m².

A két módszertan első nagyobb részeredményei a tanúsítandó épület téli hővesztesége és a nyári hőterhelés értékei. Ezek közül is a legjobban a téli hőveszteség, illetve annak komponensei hasonlíthatók össze, melyet az alábbi diagram szemléltet (24ábra).

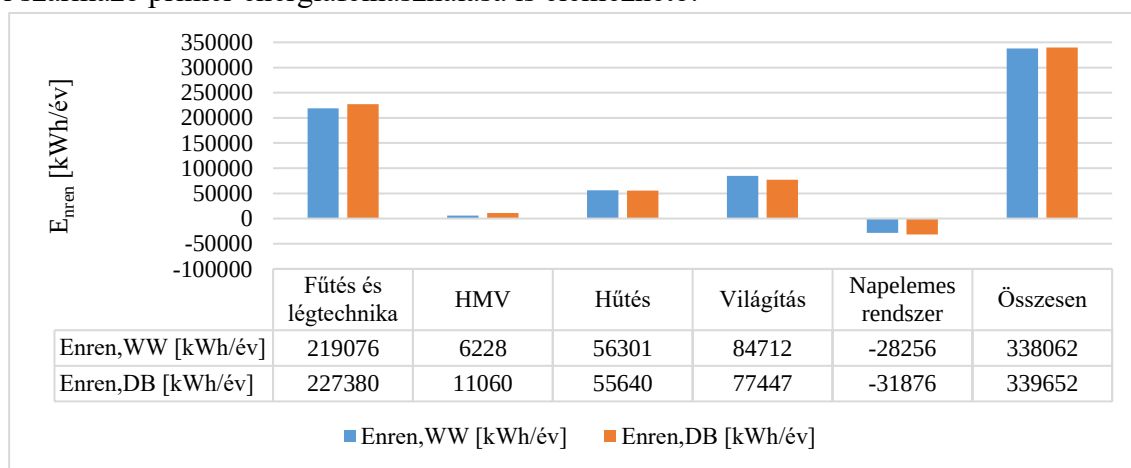


24. ábra Hőveszteség komponensei a két számítás alapján

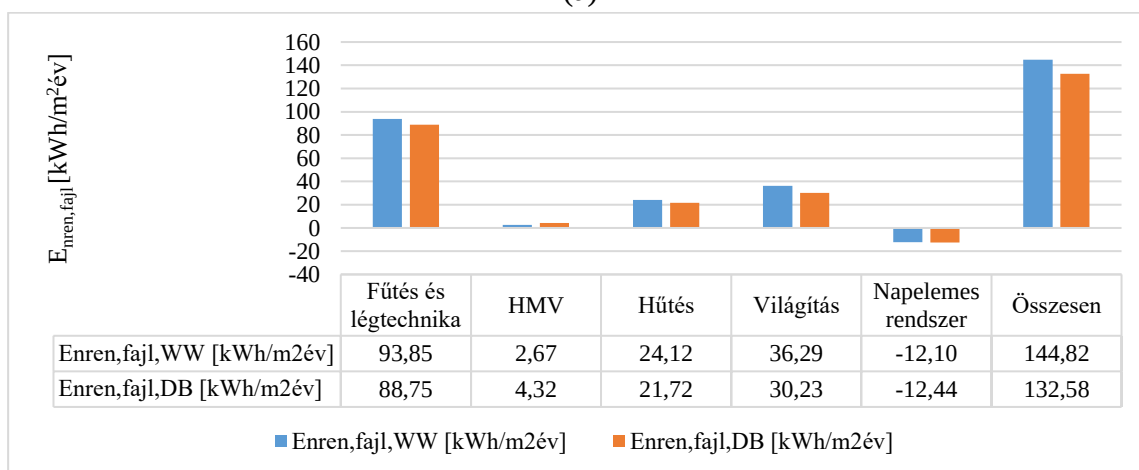
A téli hőveszteség értéke, illetve az infiltrációs veszteség is jól szemlélteti a geometria konvenciók okozta eltérést (utóbbinál a nagyobb eltérés a fűtött térfogatok nagyobb eltérésének következménye).

A nyári hőterhelés értékei már sokkal nehezebben hasonlíthatók össze, hiszen a külső környezet árnyékoló hatását a WinWatt szoftverrel végzett egyszerűsített számításnál sokkal nehezebb figyelembe venni. Valamint az árnyékoló szerkezetekhez a DesignBuilder-ben menetrend szerinti használat rendelhető, melyet szintén nem lehet megtenni a WinWatt szoftverben. A WinWatt szerinti számítás esetén 103,2 kW, míg a DesignBuilder szerinti számítás esetén 130,7 kW nyári hőterhelés adódott (ez szintén a geometriakonvenció szerinti különbséget tükrözi).

A következő nagyobb részeredmény a tanúsítandó épület épülettechnikai rendszereinek nem megújuló forrásból származó primer energiafelhasználásai (25(a) ábra), illetve azok fajlagos értékei (25(b) ábra). Ezeket összegezve pedig a teljes tanúsítandó épület nem megújuló forrásból származó primer energiafelhasználása is elemezhető:



(a)



(b)

25. ábra (a) Az épülettechnikai rendszerek nem megújuló forrásból származó primer energiafelhasználásai
(b) Az épülettechnikai rendszerek fajlagos nem megújuló forrásból származó primer energiafelhasználásai

Az épülettechnikai rendszerek fogyasztása közötti különbség nem számottevő a két eltérő számítási módszertan használatakor, azonban a fajlagos értékeknél rendre kisebb eredmények adódtak a dinamikus szimuláció használatakor. A HMV ellátás rendszere ez alól kivétel, ott

ugyanis a dinamikus szimuláció során részletes számított cirkulációs hőveszteség az alapterülettől független, valamint jelentősen magasabb, mint az ÉKM rendelet szerinti tényezővel figyelembe vett mennyiség.

Visszatérve a dinamikus szimulációval kapott alacsonyabb fajlagos fogyasztási eredményekre elmondható, hogy a dinamikus szimuláció esetén a használati menetrendek órák bontása, az éjszaka fűtés (és hűtés) csökkentés, a hétvégi csökkentett üzemmódok, a rendszerek egymásra hatása, a VAV-os rendszer csökkentett térfogatáramú időszakai, valamint a világítás nap-pali fényre szabályozása mind a fogyasztás csökkenését eredményezik. Ezeket a WinWatt-tal készített egyszerűsített számítással nem lehetséges számítani, így a dinamikus szimulációval kapott kisebb fogyasztások minden bizonnyal pontosabb becslést adnak a tényleges fogyasztásról.

Korábban bemutattam, hogy az ÉKM rendelet szerinti referenciaépület egyes esetekben torzított besorolást, illetve minősítést eredményez, emiatt két módosított referenciaépületre is elvégeztem a tanúsítás folyamatát. A következőkben az egyszerűsített számítások és ezen referenciaépületek szerinti dinamikus szimulációs eredmények besorolásait hasonlítom össze.

A 17. és a 18. táblázat foglalja össze a besorolásokat az épületre és az épülettechnikai rendszerekre (nyári hővédelem és fajlagos hőveszteségtényezővel számított értékeivel kiegészítve):

17. táblázat Energetikai jellemzők eredményei a két módszer és három referenciaépület szerint összehasonlítva

Jellemző	ÉKM rendelet szerinti referenciaépülettel	Első módosított referenciaépülettel	Második módosított referenciaépülettel
Összesített energetikai jellemző (WW)	A ⁺ ₂₀₂₃ (63,2%)	A ⁺ ₂₀₂₃ (75,3%)	A ⁺ ₂₀₂₃ (75,3%)
Összesített energetikai jellemző (DB)	B ₂₀₂₃ (105,4%)	A ⁺ ₂₀₂₃ (82,2%)	A ⁺ ₂₀₂₃ (62,8%)
Fajlagos szén-dioxid kibocsátás (WW)	A ⁺ ₂₀₂₃ (80,6%)	A ⁺ ₂₀₂₃ (74,7%)	A ⁺ ₂₀₂₃ (74,7%)
Fajlagos szén-dioxid kibocsátás (DB)	B ₂₀₂₃ (103,1%)	A ⁺ ₂₀₂₃ (79,0%)	A ⁺ ₂₀₂₃ (66,5%)
Nyári hővédelem mutatója (WW)	0,136	0,136	0,136
Nyári hővédelem mutatója (DB)	0,114	0,114	0,114
Fajlagos hőveszteségtényező (WW)	0,042	0,042	0,042
Fajlagos hőveszteségtényező (DB)	0,033	0,033	0,033

18. táblázat Épülettechnikai rendszerek eredményei a két módszer és három referenciaépület szerint összehasonlítva

Jellemző	ÉKM rendelet szerinti referenciaépülettel	Első módosított referenciaépülettel	Második módosított referenciaépülettel
Fűtési és légtechnikai rendszer (WW)	Jó (69,1%)	Jó (63,4%)	Jó (63,4%)
Fűtési és légtechnikai rendszer (DB)	Rossz (139,1%)	Jó (83,9%)	Kiváló (55,0%)
Használati melegvízellátó rendszer (WW)	Kiváló (49,5%)	Kiváló (49,5%)	Kiváló (49,5%)
Használati melegvízellátó rendszer (DB)	Jó (59,3%)	Jó (59,2%)	Jó (59,2%)
Hűtési rendszer (WW)	Kiváló (53,8%)	Kiváló (53,8%)	Kiváló (53,8%)
Hűtési rendszer (DB)	Kiváló (64,6%)	Kiváló (58,1%)	Kiváló (57,9%)
Beépített világítás (WW)	Kiváló (81,7%)	Kiváló (81,7%)	Kiváló (81,7%)
Beépített világítás (DB)	Kiváló (59,1%)	Kiváló (59,1%)	Kiváló (59,1%)

A táblázatokhoz fontos megjegyzés, hogy a WinWatt-tal készített egyszerűsített számítás eredményeinél mindhárom referenciaépület esetén a dinamikus szimulációval számított gőzbeporlasztás adott referenciaépületre vonatkozó eredményeit vettem figyelembe (ami így eltérő volt a három esetben). Viszont a fűtő kaloriferek felvétele a referenciaépületnél a WinWatt-ban nem volt lehetséges, így a besorolások csupán a gőzbeporlasztás eltérő energiafogyasztása miatt változnak.

Összességében levonható az a következtetés, hogy az összefüggő légkezelési folyamatok egymásra hatása nem számítható a WinWatt egyszerűsített módszerével (illetve a WinWatt és az azt kiegészítő szimulációs számítás eredményének összegével). Ugyanis a külön módszerrel számított gőzbeporlasztási energiafelhasználás eredményének változásával a többi légtechnikai elem (például fűtő és hűtő kalorifer) energiafogyasztása nem változott, míg a valóságban – és a dinamikus szimulációban is – ezek egymástól függő folyamatok. Ez az egyszerűsített számítás, valamint a dinamikus szimuláció szerinti fűtési és légtechnikai rendszer minősítési eredményeinek eltérésénél látszik leginkább, melynek oka, hogy a két számítási módszerrel igen eltérő fogyasztást kaptam az ÉKM rendelet szerinti referenciaépületek fűtési és légtechnikai rendszereire. Ezen eltérés pedig az épület minősítésére is érdemi hatással volt: A+ helyett B besorolást kapott összesített energetikai jellemző, valamint fajlagos szén-dioxid kibocsátás alapján is (valamint így került felszínre a fűtő kalorifer nélküli referenciaépület problémája is).

A táblázatokat elemezve kijelenthető, hogy a dinamikus szimulációval végzett tanúsítás képes összetetten kezelni a folyamatokat, mint például a levegőkezelés folyamata. Ennek köszönhetően derült ki, hogy az ÉKM rendelet szerinti referenciaépület meghatározása nem maradéktalanul helytálló, hiszen a fűtőkaloriferek figyelembevételével lehetséges csupán megfelelőként tanúsítani az esettanulmányban szereplő, korszerűnek tekinthető épületet. A referenciaépületnél elektromos fűtőkalorifereket feltételezve pedig a fűtőkaloriferek minősége is figyelembevehető, hiszen így kiváló minősítést kapott a fűtési és légtechnikai rendszer is a tanúsítandó épületben felvett vizes fűtőkaloriferekkel.

A fajlagos hővesztésgtényezőre, valamint a nyári hővédelem mutatójára igen hasonló eredmények adódtak a két módszer esetén, melyek természetesen függetlenek a referenciaépülettől, így minden esetben azonos értéket vesznek fel.

Az eredmények összehasonlításával látható volt, hogy a hővesztesség, hőterhelés eredményei esetén, valamint az épülettechnikai rendszerek teljes (nem fajlagosított) energiafogyasztása esetén nagyobb értékeket kaptam a külső geometria konvenció szerinti dinamikus szimulációval, azonban az alapterülettel fajlagosítva a két számítási módszer eredményei között minimális (legtöbb esetben 5% alatti) különbség van. A tanúsítás szempontjából meghatározó besorolások, minősítések esetén pedig a referenciaépület-módszer miatt nem okoz számottevően torzított eredményeket az eltérő konvenció: a besorolásnál ugyanis a tanúsítandó és referenciaépület értékeinek hányadosát tekintjük, melyeknél a méretkülönbség ugyanolyan mértékben érvényesül. Ráadásul az összesített energetikai jellemző és a fajlagos szén-dioxid kibocsátás esetén fajlagos eredmények kerülnek a tört számlálójába és nevezőjébe, melyek az előbb említettek alapján igen közel esnek egymáshoz az eltérő konvenciók esetén. A fajlagos hővesztésgtényező (4) egyenlet szerinti képletét tekintve szintén ugyanolyan mértékben érvényesül a méretkülönbség a számlálóban és a nevezőben (mely hatások így „kiejtik egymást”), a nyári hővédelem mutatójának (5) egyenlet szerinti meghatározása pedig a konvenciótól független. Dinamikus szimuláció használatakor pedig mindig referenciaépület-módszert szükséges alkalmazni (lakóépület esetén is), így dinamikus szimulációval tanúsítás esetén általánosan feloldódik a külső-belső geometriai konvenció problémája. Csupán akkor okozna lényegesen eltérő besorolást az eltérő geometriai konvenció, ha lakó és szállás jellegű épületek esetén az egyszerűsített

számítás szerinti rögzített referenciaépület követelményre vonatkoztatnánk. Így dinamikus szimulációval külső méretek alapján is lehetne végezni az energiatanúsítás folyamatát, felhasználva akár egy a LEED minősítéshez korábban elkészült dinamikus szimulációs modellt.

7.2. Konklúzió, adaptációs javaslatok

Áttekintve a 9/2023 (V.25.) ÉKM rendelet és az ASHRAE 90.1-2016 szabvány módszertana közötti különbségeket, néhány hasznos funkció vagy követelmény kiemelését fontosnak tartom az ASHRAE szabványból, illetve a LEED Minimális és Optimalizált Energetikai Teljesítmény metodikájából, mint lehetséges adaptáció a magyar tanúsítási módszertanban.

Az egyik legalapvetőbb problémakör, hogy az ASHRAE 90.1 szerinti dinamikus szimulációk használatakor igen nehéz a számítási módszertant „ÉKM rendelet-kompatibilissé” tenni. Azaz a sokkal részletesebb bemeneti adatok, valamint órai, vagy annál részletesebb eredmények nehezen összeegyeztethetők a havi bontás szerinti eredményekhez használt képletekkel, például a nettó hűtési igény képletében szereplő hasznosítási tényező a szimuláció során már eleve a hőtároló tömegek részletes hőtechnikai adataival lett figyelembevéve. A nettó fűtési és hűtési energiaigények kinyerése is igen körülményes feladat, ehelyett érdemesebb lenne az épülettechnikai rendszerek besorolásánál külön referenciaépülettel számolni (mely a tanúsítandó épület épületszerkezetei szerinti épület a referencia épülettechnikai rendszerekkel). A részletes adatmegadás korlátozásának problémája ugyanígy igaz az egyes épülettechnikai rendszerek fogyasztási adatainak meghatározásánál, hiszen az ÉKM rendeletben a legtöbb rendszerparamétert szorzótényezőkkel vesszük figyelembe, ami viszont különböző épületek épülettechnikai rendszereinél különböző szorzótényezőt jelentene a valóságban. Épülettípusonként igen nagy eltérés mutatkozik például a használati melegvíz cirkulációs rendszerének fogyasztásában, hiszen a dolgozatban szereplő irodaépület esetén is ez jóval nagyobb arányt jelent a melegvíz-elvétel miatti fogyasztáshoz képest. Azaz dinamikus szimulációt alkalmazva célravezetőbb lenne egy olyan módszertan alkalmazása az épülettechnikai rendszerek fogyasztásának meghatározására, mint amilyen módszerrel jelen tanúsítandó épület használati melegvíz fogyasztását is meghatároztam. Azaz egyszerűen a gépész kapcsolási sémát vizsgálva az arra alkalmas EnergyPlus „node”-okon (azaz csomópontokon) való óránkénti számított adatokat lenne célszerű alkalmazni, hiszen ezen „node”-okat kijelölve az ellenőrizhetőség is biztosított.

További kiemelő szempont az ÉKM rendelet szerinti tanúsításban, hogy az egyszerűsített számítás nem veszi figyelembe például a hőtermelő és hőleadó konkrét teljesítményeit, így az alulméretezett rendszereknél nem jelenik meg csökkent fogyasztás a szükséges teljesítményű rendszerekhez képest. Ez a csökkenés legfeljebb úgy lenne mesterségesen előidézhető, ha például a belső tartott hőmérsékletet télen 20 °C helyett 18 °C-ra állítanánk a WinWatt-ban, mivel a valóságban is ez történik alulméretezett rendszerek esetén. Dinamikus szimuláció használatával viszont ez már szemléltethető, hiszen ha a terveken szereplő valós teljesítményekhez képest kisebb beépített teljesítményeket adunk meg, akkor csökken a fogyasztás is. Mivel ezen értékek helyes bevitelének ellenőrzésére jelenleg csupán kézi ellenőrzés lehetséges dinamikus szimuláció esetén, így előfordulhat, hogy az épületre így jobb kategória adódik ki a tanúsítás során. Ennek kiszűrésére pedig az ASHRAE szabványban definiált Unmet Load Hours, azaz a kielégítetlen terhelési órák száma lehet egy alkalmas bevezetendő mennyiség (a dolgozatban bemutatott modell esetén is ellenőriztem ennek értékét).

Az ÉKM rendelet szövege kitér rá, hogy alulméretezett fűtési rendszerek esetén a nettó fűtési igény meglévő rendszerrel nem fedezhető hányadát elektromos hőtermeléssel fedezik csakúgy, mint a használati melegvíz készítésénél. Tehát, ha minden definiált gépészeti zónacsoportba (és ezáltal magukba a zónákba is) kötelező lenne modellezni egy elektromos radiátort is automatikus méretezés funkcióval (függetlenül attól, hogy egyébként a meglévő rendszer elégséges-e)

és utolsóként léptetnénk a rendszerbe, akkor ezzel csak akkor üzemelne, mikor az általunk definiált valós rendszer már nem tudná ellátni az igényeket, viszont akkor mindig. Ezen utóbbi működés a hőleadók teljesítményének órás (vagy részletesebb) elemzésével is ellenőrizhető lenne, ráadásul az eredményeknél megjelenik a szükséges többlet teljesítmény is, mellyel már nem lesz alulméretezett a rendszer. Ehhez csupán az elektromos radiátorok automatikusan méretezett kapacitásait kell megtekinteni. Hűtés esetén viszont a rendelet a fűtéstől eltérően úgy fogalmaz, hogy a hűtési igény azon részét, melyet nem lehet fedezni a rendszerrel nem kell figyelembe venni. Azonban a mai épületek, mint például a jelen dolgozatban szereplő irodaház esetén már a hűtési igény a meghatározóbb, így ezen esetben is hasznos lenne hasonló módszer bevezetése az alulméretezés elkerülésére.

A legfőbb ellenőrzési pont azonban az előbb említett kielégítetlen órák számának ellenőrzése lenne, ez ugyanis megmutatja, hogy az adott épületben egy év alatt hány olyan óra volt, mikor legalább egy zónában nem érte el a levegő hőmérséklete a kívánt értéket. Értelmezhető ez az érték tehát külön a zónákra is egyesével, mellyel még könnyebb kiszűrni a hiba okát. A LEED módszertanában például mindkét épület esetében az évi 8760 órából legfeljebb 300 lehet az értéke, ráadásul a tárgyi és a referencia épület közötti különbség is csak maximum 50 óra lehet. Ezzel szűrhető ki, hogy a LEED módszertana szerinti energiafogyasztás költségének megtakarítása a tervezett épülettel a referencia épülethez képest ne az alulméretezett rendszereknek legyen köszönhető, hanem az épület jobb energetikai jellemzőinek. A LEED minősítésben ráadásul a referencia épület fűtési rendszerének 25%-os, hűtési rendszerének 15%-os túlméretezése szükséges, mellyel a gépészet automatikus méretezésének bizonytalanságát igyekeznek orvosolni a túlméretezéssel – a biztonság javára tévedve. A referencia épület gépészetének felvétele ugyanis nem történhet tervek alapján, hiszen ez egy fiktív épület csakúgy, mint az ÉKM rendelet szerinti referencia épület. Így tehát a referencia épület gépészeti rendszereinek túlméretezése is biztosíthatná a hazai tanúsítási folyamat megbízhatóságát.

Hasonló kérdéskör a túlméretezés problémája, az ÉKM rendelet ilyen esetben a részletes módszer szerinti, részterhelésre vonatkozó határfokok és üzemidők használatát javasolja. Dinamikus szimulációval ez is pontosabban végezhető, ugyanis a hőtermelőkre előre definiált határfokgörbéket vehetünk figyelembe ilyen esetben.

További problémakör a könnyebb adaptáláshoz a külső-belső méretek problémájának feloldása, vagy legalább kiküszöbölése. Az ASHRAE 90.1-2016 szerint ugyanis külső geometria konvenció használata kötelező az 9/2023 ÉKM rendelet belső méret konvenciójával ellentétben.

Esetemben az eltérő geometriai konvenció nem okozott jelentős eltérést a két módszertan között, az alapterületre fajlagosított fogyasztási adat eredmények közötti különbség ugyanis 5% alatti. A probléma pedig általánosan is feloldható dinamikus szimuláció használatakor, ugyanis ekkor minden esetben referenciaépület-módszer alapján szükséges végezni a tanúsítást. Ezen módszer a tanúsítandó és referenciaépület energetikai jellemzőinek hányadosa alapján végzi a besorolást, így a tört számlálójában és nevezőjében a konvenció miatti méretkülönbség hatása ugyanolyan mértékben érvényesül.

Későbbi kutatások során akár egy arányszámot is meg lehetne határozni a két számítás egymásnak megfeleltetésére. Erre a legjobb módszer a két számítás esetén adódó épület térfogatának, alapterületének és lehűlő felületeinek összehasonlítása lehet. A legtöbb épületenergetikai jellemző ugyanis ezen értékektől függ legnagyobb mértékben.

Áttérve kifejezetten az épülettechnikai rendszerek szabályozási kérdéseire elmondható, hogy a világítási rendszerek energiafogyasztásának meghatározása terén az ASHRAE 90.1 alaposabb módszert biztosít a szabályozás alaposabb elemzésével. Az 9/2023. ÉKM rendelet ugyan igen nagy fejlődést jelent a 7/2006-os TNM rendelethez képest, azonban jelenleg nincs részletesen

kidolgozva a nappali fényérzékelésre szabályozás, amely jelentősen csökkentheti a világítás energiaigényét (ezt a szimulációs modell szerinti jobb eredmények is mutatják). Az ASHRAE figyelembe veszi a beépített teljesítmény korlátozásait épülettípusonként, amely szintén növelné a magyar szabályozás által elérhető energiahatékonyságot.

Az épülettechnikai rendszerek szabályozási és automatizálási szintjeinek figyelembevétele összességében is sokkal részletesebben történik az ASHRAE szerint, hiszen a rendszerek egymásra hatása is modellezésre kerül. A fent említett nappali fényre szabályozás az árnyékolásnál például hatással van a gépi hűtés üzemelésére és energiafogyasztására, így komplexen lehet kezelni az épülettechnikai rendszerek szabályozási stratégiáit – lehetővé téve a gazdaságilag optimális megoldás kialakítását, illetve a pontosabb számítást.

Ezek mellett a 9/2023 ÉKM rendelet szerinti tanúsítás egyszerűsített módszere a havi bontás alapján számos egyéb épülettechnika rendszer, illetve azok paramétereinek elemzését nem teszi lehetővé. A gépi szellőzés az egyik legsarkosabb ezen a téren, ugyanis a VAV-os rendszerek változó térfogatáramainak hatása igen számottevő befolyással bír a teljes energiafogyasztásra. Igény szerinti szellőztetésnél nem lehetséges figyelembe venni a felhasználók óránként (vagy annál gyakrabban) változó jelenléte miatt változó CO₂ koncentrációkat sem. Továbbá a légkezelők befűjt hőmérséklete sem időben állandó sok esetben, hanem például külső hőmérséklet szerint változik. Így ezek következtében jelentősen nagyobb fogyasztás adódik a tanúsítandó rendszerre – tény, hogy a referenciaépület-módszer szerinti ugyanilyen paraméterek szerint felvett referenciaépület fogyasztása is hasonlóan csökkenne a fentiek figyelembevételével (de nem pont ugyanúgy). A leszabályozott, csökkentett működés egy másik esete az éjszakai fűtőcsökkentés, mely hasonlóan nehezen kezelhető az ÉKM rendelettel. A napelemes villamosenergia termelés órás vizsgálata a felhasznált és visszatáplált energiáról is csupán órai bontással vizsgálható – igaz, hogy a jelen dolgozatban vizsgált épület alacsony napelemes villamosenergia-termelése miatt annak szinte 100%-a felhasználásra kerül a helyszínen, így itt nem releváns a kérdés. Azonban egy nagyobb beépített teljesítményű napelemes rendszer (vagy arányaiban kisebb villamosenergia igényű épület) esetén a dinamikus szimuláció használatával a dekarbonizációs célok elérését is szem előtt lehetne tartani.

A két módszertan közötti további lényeges különbség a rugalmasságban rejlik. Egyrészt a minimumkövetelményeknek megfelelés bizonyítására az ASHRAE 90.1 szerinti LEED minősítés több, különböző megközelítést szem előtt tartó módszertant biztosít. Az ÉKM rendelet ezzel szemben leginkább a módszerek részletessége szerint kínál több lehetőséget, maga a módszer ugyanazt a logikát követi. Ráadásul a követelmények erősen függenek a minősítendő épület rendszerelemeitől, azaz sokkal differenciáltabb a követelményrendszer, számos kivétel is azonosításra kerül. Másrészt az ASHRAE 90.1 szerinti referenciaépület is sokkal több elágazási pontot foglal magában, a fő energiahordozó, épület alapterület, épületfunkció és klímazóna (ez utóbbi a nemzetközi használat miatt) alapján például 13 fő épülettechnikai rendszertípust különböztet meg, melyek így jobban igazíthatók az adott projekt minősítéséhez.

Az ÉKM rendelet ehhez képest egyetlen alap rendszertípust használ a referenciaépületnél (néhány alesetet nevesítve emellett), mely néhány esetben nem is lenne releváns a tanúsítandó épület esetén. Azaz akad, hogy korlátozva van az elérhető energiahordozó, például a tanúsítandó épület közelében nincs kiépített gázhálózat, mely gyakorlatilag egy adottságként értelmezhető. Ekkor az ÉKM rendelet szerint feltételezett kondenzációs gázkazános hőellátás relevanciája megkérdőjeleződik a referencia esetben.

A referenciaépület esetén ezek mellett felmerült a légkezelő definiálásának problémája is, ugyanis néhány esetben jelenleg nem lehetséges az ÉKM rendelet követelményeinek megfelelő eredményt elérni a tanúsítandó épülettel. A vizsgált irodaépület ugyanis a rendelet szerinti re-

referenciaépülethez hasonlítva nem felelt meg sem az összesített energetikai jellemző, sem a fajlagos szén-dioxid kibocsátás alapján, valamint a fűtési és légtechnikai rendszer minősítése is rossz lett. Ezek miatt egy módosított referenciaépület használata lenne javasolt, mely figyelembe veszi a légkezelők fűtőkaloriferjeit is az energetikai számítások során. Azaz amennyiben a tanúsítandó épület légtechnikai rendszerében van fűtő kalorifer, akkor a referenciaépületben is kötelező lehetne annak felvétele (a referenciaépület esetén akár elektromos kaloriferként).

Az ASHRAE szabvány előírja, hogy a tervezett épület tájolását figyelembe kell venni úgy, hogy a referencia épület esetén 4 esetet is modellezni szükséges. Egyrészt el kell végezni a számítást az eredeti (tervezett) tájolás szerint, majd ehhez képest 90, 180 és 270 fokkal elforgatott esetekre is, a referencia épületnél pedig ezen 4 szimulációból adódott eredmények átlagával kell számolni. Ehhez képest a tervezett épület csak a tervek szerinti (eredeti) tájolással kerül modellezésre, így egy jobb tájolás több energiamegtakarítást eredményez. Az ÉKM rendelet nem követeli meg ezt a vizsgálatot, mivel az az aktuális telek adottságaként kezeli a tájolást. Ezzel azonban nem részesíti előnyben azon építészeti megoldásokat, melyek szerint már a korai tervezési fázisban az egyes tájolások szerinti ablak-fal arányok változtatásával csökkenthetők lennének a nyári hőterhelések. A magyar módszertan eleve a gépi hűtés elkerülését szorgalmazza, azaz a nettó hűtési igény csökkentését fogalmazza meg elsődleges feladatnak. Ezzel a tájolás figyelembevétele szintén összhangban lenne. Az ASHRAE említi kivételeket, mikor nem szükséges a referencia épületnél a 4 szimuláció, például ha az ablak-fal arány eltérés homlokzat tájolásonként 5% alatti, vagy ha nem megoldható a valóságban sem az elforgatás (például meglévő épület felújításával van dolgunk, ahol a peremfeltételek ilyen értelemben már adottságként kezelendőek).

A LEED energetikai témájú kreditjeinek, azaz a MEP és OEP szempontoknak fő kitétele, hogy az épülethez köthető minden végfelhasználás energiafogyasztása kerüljön elkönyvelésre a számítások során, melyek közül a legtöbbhöz pontos módszertant biztosít az ASHRAE 90.1 szabvány. A liftek és locsolórendszerek energiafogyasztását is figyelembe veszi a szabvány, míg az ÉKM rendelet ezekkel nem foglalkozik ez EPBD irányelv szerint. Ezen utóbbi végfelhasználási kategóriák fogyasztásának számításához az ASHRAE kivételes számítási módszerek használatát írja elő, ami szintén hasznos lehet a magyar szabályozásban az épületek energiafogyasztásának pontosabb becsléséhez. A kivételes számítási módszerek során ugyanis szakmailag alátámasztott kézi számítással szükséges meghatározni a vizsgált tétel energiafogyasztását.

A hitelesítés elvégzése szintén fontos feladat az energiatanúsítások esetén. Az ASHRAE előírja a szimulációs szoftverek szigorú szabályok szerinti validálását, melyet az ASHRAE 140 szabvány foglal össze. Az ÉKM rendelet kevésbé részletes ebben a tekintetben, de egy hasonló validálási keretrendszer bevezetése növelhetné a szimulációs eredmények megbízhatóságát. A hitelesítés kapcsán az ASHRAE és a LEED minősítés arra is részletesen kitér, hogy az összes szimulációs eredményt és inputot részletesen dokumentálják, ami biztosítja a folyamat átláthatóságát és ellenőrizhetőségét. Az ÉKM rendeletben is érdemes lenne részletesebben kidolgozni hasonló szabályokat és eljárást az adatfeldolgozás pontosságának növelése érdekében.

A két számítási módszertan alapos elemzésén, valamint az irodaépület összetett gyakorlati példáján keresztül számos adaptációs lehetőség merült tehát fel a hazai épületenergetikai tanúsításban, melyekkel összességében az épületek energiafelhasználásának pontosabb becslését lehetne elérni. Az épületminősítések, illetve azok szabványainak módszertana kiforrott, alapos szabályozást biztosít a nemzetközi gyakorlatban, s egy lehetséges jó irányt mutat a magyarországi gyakorlat számára.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

Vizsgálatom során feltérképeztem az önkéntes épületminősítések nemzetközi és hazai gyakorlatát. Ennek során azt találtam, hogy napjainkban már számtalan, különböző módszertanon alapuló minősítés használt: világszerte a LEED épületminősítés a leggyakoribb, míg Magyarországon a BREEAM minősítés, azonban jelenleg a nemzetközi épületminősítések módszertanának adaptációjára a hazai energiatanúsításban a LEED minősítés a praktikus választás, eszközhazsnálatti okokból. A LEED minősítésnél használt ASHRAE 90.1 szabvány ugyanis igen alaposan szabályozza a LEED megfeleléshez szükséges dinamikus szimulációs módszertant, mely az órai bontású számítás alapja. Az épületszimulációs szoftverek közül a DesignBuildert használtam, mely beépített funkcióival lényegesen megkönnyíti az energiatanúsítás menetét a LEED szerinti (90.1 Appendix G) referenciaépületet generáló varázslójával. Ez a 9/2023. (V. 25.) ÉKM rendelet szerinti referenciaépület-módszerhez is felhasználható.

Az elemzésem során gyakorlati példának egy irodaépületet választottam, ugyanis az önkéntes épületminősítéseket az iroda funkciójú épületeknél alkalmazzák legtöbbször, valamint kellően összetett feladatot biztosít az esetlegesen felmerülő problémák azonosítására. Az épületre először az ÉKM rendelet egyszerűsített számításával, majd dinamikus szimulációval is elvégeztem a tanúsítást. A referenciaépület létrehozását illetően rámutattam egy ellentmondásra az ÉKM rendelet 5. mellékletének 2.5.1. pontjában, miszerint a referenciaépület légtechnikai rendszerében nem lehet fűtőkalorifer. Így modellezve az épületet azonban a kényszerűen hideg levegőt befűvő rendszer túlhűti a helyiségeket, valamint ez hatással van a gőzbeporlasztás folyamatára is. Így a referencia fűtési és légtechnikai rendszer fogyasztására is jelentősen kisebb érték adódik, valamint a referenciaépület teljes energiafogyasztása is számottevően csökken – a felhasználói komfort jelentős romlásának árán, mivel az előállított légállapotok eltérőek a tervezettől.

A probléma azonosítása után javaslatot tettem annak feloldására is. Ehhez az ÉKM rendelet szerint felvett referenciaépület mellé további két, általam javasolt módon létrehozott referenciaépületet is modelleztem, mivel a rendelet szerinti referenciaépülethez viszonyítva az épület nem felelt meg sem összesített energetikai jellemző, sem fajlagos szén-dioxid kibocsátás alapján. A javaslatokkal nemcsak megfelel az épület (és jobb eredmény adódik az épülettechnikai rendszerek minősítésekor), de szakmai szempontból koherensebb működést feltételez: a zónák hőmérsékletei elérik a parancsolt (fűtési) hőmérsékleteket, valamint a gőzbeporlasztás is a teljesen előírt belső légállapot előállításának megfelelően üzemel.

Az így kapott fogyasztási eredmények összehasonlításánál látható volt, hogy dinamikus szimuláció használatával minimálisan kevesebb az épület fajlagos nem megújuló forrásból származó primer energiafelhasználása, azonban jelentős különbség nem adódott az eltérő számítási módszerek miatt, sem az eltérő geometria konvenció miatt (5% alatti eltérés a legtöbb esetben). A dinamikus szimuláció használatával adódó (minimálisan) kisebb fogyasztás pont azon paraméterek figyelembevételéből adódik, melyeket havi bontású számítással nem, csak órai bontásúval lehetséges számításba venni: például az éjszakai- és hétvégi fűtés csökkentéssel ténylegesen elérhető megtakarítás, az épülettechnikai rendszerek pillanatnyi igény szerint változó működése, valamint ezen rendszerek egymásra hatása.

A tanúsítás szempontjából meghatározó besorolások, minősítések eredményeinek, valamint a számítási módszer alaposabb tanulmányozása után elmondható, hogy az eltérő geometria konvenció az épület besorolásaira sincs számottevő hatással. Ennek oka, hogy dinamikus szimuláció használatakor tanúsítás során minden esetben referenciaépület-módszert szükséges alkalmazni, mely szerint a tanúsítandó és a referenciaépület fogyasztási adatainak hányadosa alapján történik a besorolás a minősítési kategóriákba. Ezen hányados számlálójában és nevezőjében

pedig ugyanolyan mértékben érvényesül az eltérő konvenció hatása, így akár egy, a LEED minősítéshez korábban elkészült dinamikus szimulációs modell is felhasználható lehet a tanúsításhoz.

Az ASHRAE 90.1 és a 9/2023 ÉKM rendelet szerinti számítási módszerek között párhuzamot vonva a gyakorlati példa alapján elmondható, hogy számos adaptációs lehetőség rejlik a nemzetközi épületminősítések számítási módszertanában, azon belül is a LEED minősítésben, illetve az ASHRAE 90.1 szabványban. Szimuláció esetén elengedhetetlen például az ASHRAE 90.1 szerinti kielégítetlen órák számának (UMLH: Unmet Load Hours) bevezetése és annak korlátozása, mellyel a modellezés folyamatába egyfajta ellenőrzési pont iktatható be, valamint a validáció folyamata is könnyíthető. Ezen felül dinamikus szimulációval történő tanúsítás esetén a sokkal részletesebb bemeneti adatok, valamint az órás bontású eredmények nehezen összeegyeztethetők az ÉKM rendelet szerinti havi bontás esetén használt képletekkel, így ilyenkor a részletes adatmegadás korlátozása helyett a szoftverben rögzített gépész kapcsolási séma csomópontjain mért fogyasztási adatok alapján lenne célszerű tanúsítani. További adaptációs lehetőség, hogy az ASHRAE 90.1 szerint a referenciaépület esetén a szimulációt az épület eredeti, valamint annak 90, 180, valamint 270 fokkal elforgatott tájolású modelljére is szükséges elvégezni, majd a négy számítás fogyasztási eredményeinek átlaga lesz a referenciaépület fogyasztása (a tanúsítandó épületnél csupán az eredeti tájolás szerint szükséges eljárni). Ezzel a tanúsítandó épület tájolásának is befolyása van az épület minősítésére (mivel a referenciaépület eredménye független a tájolástól), ami így az építészeti tervezés hatását (ablak-fal arányok) is figyelembe veszi.

Összességében elmondható, hogy a dinamikus szimuláció részletesebben kifejtett módszertana, valamint a hitelesítési eljárását biztosító szabványrészletek hazai jogszabályi környezetre vetített adaptációja megfontolandó, hiszen számos épülettechnikai rendszer működésének megtervezése igényli az órai módszer részletességét, mely nélkül a nemzeti dekarbonizációs célok kevésbé hatékonyan valósíthatóak meg. A két eltérő számítási módszerrel kapott fogyasztási eredmények közötti minimális különbség is csupán annak köszönhető a bemutatott tanúsítandó épület esetén, hogy az egyszerűsített számítás szerinti energiafogyasztáshoz manuálisan hozzáadtam a dinamikus szimulációval számított gőzbeporlasztási energiafogyasztást. Az utólag manuálisan hozzáadott gőzbeporlasztási fogyasztással pedig a légkezelési folyamatok egymásra hatása nem vehető figyelembe, mely így pontatlan eredményt szolgáltat. Ez derült ki az ÉKM rendelet szerinti referenciaépület esetében a két számítási módszer eredményeinek jelentős eltéréseiből, mely az épület besorolásában is érdemi eltérést eredményezett. Más tanúsítandó épületekben előfordulhatnak további olyan alrendszerek, melyek fogyasztását már nem lehetséges kézi számításal figyelembe venni, tehát a két számítási módszerrel kapott fogyasztási eredmények közötti kis eltérés sem garantált minden tanúsítandó épület esetén. Így az épülettechnikai rendszerek pillanatnyi igények szerinti változó üzemelésének, valamint a komplex, összefüggő folyamatoknak (például a légkezelési folyamatoknak) a számításai egyszerűsített módszerrel nem végezhetők el, esetükben az épület pontos tanúsítása dinamikus szimulációval lehetséges.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] 9/2023. (V. 25.) ÉKM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról, <https://njt.hu/jogszabaly/2023-9-20-8X>, 2023.
- [2] World Energy Outlook 2024, 2024. www.iea.org/terms.
- [3] EUROSTAT, Complete energy balances, (2023). https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_bal_c/default/table?lang=en&category=nrg.nrg_quant.nrg_quanta.nrg_bal (accessed November 10, 2024).
- [4] International Energy Agency, 2019 Global Status report for Buildings and Construction, 2019.
- [5] Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future, 1987. <https://www.are.admin.ch/are/en/home/media/publications/sustainable-development/brundtland-report.html> (accessed November 10, 2024).
- [6] A fenntartható fejlődés fogalma, (2018). <https://eionet.kormany.hu/a-fenntarthato-fejlodes-fogalma> (accessed November 10, 2024).
- [7] The Sustainable Development Goals Report, 2024. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2024/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2024.pdf> (accessed November 10, 2024).
- [8] B. Herazo, G. Lizarralde, The influence of green building certifications in collaboration and innovation processes, Construction Management and Economics 33 (2015) 279–298. <https://doi.org/10.1080/01446193.2015.1047879>.
- [9] EPA, EPA Archive Green Building, (2016).
- [10] Stephanie Vierra, GREEN BUILDING STANDARDS AND CERTIFICATION SYSTEMS, 2016. <https://www.wbdg.org/resources/green-building-standards-and-certification-systems>.
- [11] R. Ade, M. Rehm, The unwritten history of green building rating tools: a personal view from some of the ‘founding fathers,’ Building Research and Information 48 (2020) 1–17. <https://doi.org/10.1080/09613218.2019.1627179>.
- [12] Laura Mark, LEED outstrips BREEAM across the globe – including Europe, (2013). <https://www.architectsjournal.co.uk/news/leed-outstrips-breeam-across-the-globe-including-europe> (accessed November 10, 2024).
- [13] HuGBC, Zöld minősítések tudástár, (2024). <https://www.hugbc.hu/zold-minositese-k-tudastar> (accessed November 10, 2024).
- [14] Épületminősítési rendszerek , LEED / BREEAM, (2019). <https://green-building.hu/epuletminositesi-rendszerek-leed-breeam/> (accessed November 10, 2024).

- [15] Sustainable Building Certifications, World Green Building Council (2022). <https://worldgbc.org/sustainable-building-certifications/> (accessed November 10, 2024).
- [16] Top 12 Green Building Rating Systems, Sustainable Investment Group (2024). <https://sigearth.com/top-12-green-building-rating-systems/> (accessed November 10, 2024).
- [17] BREEAM, A guide to how BREEAM works, (2024).
- [18] LEED, LEED rating system, (2024). <https://www.usgbc.org/leed> (accessed November 10, 2024).
- [19] ABUD, ABUD – ADVANCED BUILDING & URBAN DESIGN, (2024). <https://abud.hu/diagnostics-rating-systems/> (accessed November 10, 2024).
- [20] DGNB, Important facts about DGNB Certification, (2024). <https://www.dgnb.de/en/certification/important-facts-about-dgnb-certification> (accessed November 10, 2024).
- [21] Paula Melton, For LEED v5, These Are the 6 Things to Know, (2022). <https://leeduser.buildinggreen.com/blog/leed-v5-these-are-6-things-know> (accessed November 10, 2024).
- [22] Nicholas Dunbar, BREEAM Version 7 set to embrace new Biodiversity Net Gain legislation, (2024). <https://bregroup.com/insights/breeam-version-7-set-to-embrace-new-biodiversity-net-gain-legislation/> (accessed November 10, 2024).
- [23] A LEED épületminősítésről, (2024). <https://mn6.hu/leed/a-leed-epuletminositesrol/> (accessed November 10, 2024).
- [24] 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról, Magyarország, 2006. http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A0600007.TNM.
- [25] 176/2008. (VI. 30.) Korm. rendelet az épületek energetikai jellemzőinek tanúsításáról, (2008).
- [26] MSZ EN 16798-1 Épületek energetikai teljesítőképessége, Magyarország, 2019.
- [27] About ASHRAE, (2024). <https://www.ashrae.org/about> (accessed November 10, 2024).
- [28] The European Parliament and European Council, DIRECTIVE 2002/91/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 16 December 2002 on the energy performance of buildings, 2002.
- [29] Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2024/1275 irányelve (2024. április 24.) az épületek energiahatékonyságáról (átdolgozás) (EGT-vonatkozású szöveg), n.d. <http://data.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj>.
- [30] WELL, WELL Certification, (2024). <https://www.wellcertified.com/> (accessed November 10, 2024).

- [31] HuGBC, Minősített Magyar Épületek Adatbázis, (2023). <https://www.hugbc.hu/minositett-epuletek-adatbazis> (accessed November 10, 2024).
- [32] Y. Roderick, D. Mcewan, C. Wheatley, C. Alonso, COMPARISON OF ENERGY PERFORMANCE ASSESSMENT BETWEEN LEED, BREEAM AND GREEN STAR, in: Building Simulation 2009 Eleventh International IBPSA Conference, IBPSA, Glasgow, 2009: pp. 1167–1176. https://www.aivc.org/sites/default/files/BS09_1167_1176.pdf (accessed November 10, 2024).
- [33] Michael Kilkelly, Five Digital Tools for Architects to Test Building Performance, (2015). <https://www.architectmagazine.com/technology/five-digital-tools-for-architects-to-test-building-performance> (accessed November 10, 2024).
- [34] Y. Schwartz, R. Raslan, Variations in results of building energy simulation tools, and their impact on BREEAM and LEED ratings: A case study, *Energy Build* 62 (2013) 350–359. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.03.022>.
- [35] D. Coakley, P. Raftery, M. Keane, A review of methods to match building energy simulation models to measured data, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 37 (2014) 123–141. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.007>.
- [36] A. Punia, S. Sharma, P. Syal, Analysis of Energy Simulation Softwares to Enhance Energy Efficiency of New and Existing Buildings, *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)* ISSN (2021) 9–12. www.iosrjournals.org.
- [37] L. Socal, EPB standards on heating and domestic hot water systems: advanced features and tips & tricks, BUILD UP Webinar series Webinar 6, 2020.
- [38] About Building Energy Modeling, Office of Energy Efficiency & Renewable Energy (2024). <https://www.energy.gov/eere/buildings/about-building-energy-modeling> (accessed November 10, 2024).
- [39] T. Han, Q. Huang, A. Zhang, Q. Zhang, Simulation-based decision support tools in the early design stages of a green building-A review, *Sustainability (Switzerland)* 10 (2018). <https://doi.org/10.3390/su10103696>.
- [40] DesignBuilder, DesignBuilder Support, (2024). <https://support.design-builder.co.uk/support/solutions/articles/103000180991-which-breeam-credits-does-designbuilder-calculate> (accessed November 10, 2024).
- [41] DesignBuilder, DesignBuilder v7 Help, (2024). <https://design-builder.co.uk/helpv7.0/index.htm> (accessed November 10, 2024).
- [42] ASHRAE, ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2016, 2021. https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/standards%20and%20guidelines/standards%20addenda/90.1-2016/90_1_2016_t_v_y_al_an_ao_at_aw_ay...pdf (accessed November 10, 2024).
- [43] LEED v4.1 BUILDING DESIGN AND CONSTRUCTION Getting started guide for beta participants, 2024. https://build.usgbc.org/bd+c_guide (accessed November 10, 2024).

- [44] ASHRAE 90.1 App G PRM User Guide DesignBuilder v7.0, 2021. https://design-builder.co.uk/downloads/help/DesignBuilder_v7.0_LEED-ASHRAE901_Modelling_Guide.pdf (accessed November 10, 2024).
- [45] S. Goel, M. Rosenberg, C. Eley, ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2016 Performance Rating Method Reference Manual, 2017. https://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-26917.pdf (accessed November 10, 2024).