

Pécsi Tudományegyetem  
Műszaki és Informatikai Kar  
Breuer Marcell Doktori Iskola



# **Dinamikus, termikus épületszimulációk komplex potenciálanalízise és a mérésekkel támogatott szimulációs tervezés fejlesztése**

Ph.D. értekezés

**Baranyai Bálint**

okl.építészmérnök M.Sc.

Témavezető:

**Prof.Dr.Habil. Kistelegdi István DLA, Ph.D.**

Pécs, 2015.



*Édesanyámnak*



## Tartalomjegyzék

1. A kutatás célkitűzése	6
2. A kutatás előkészítése	10
3. A kutatás módszere	11
3.1. A kutatás módszertani lépései	11
3.2. Dinamikus, termikus épület-szimulációk	14
3.3. A demonstrációs épület bemutatása	17
3.4. A referenciépület felügyeleti és monitoring rendszere	20
4. Új tudományos eredmények	28
4.1. 1.Tézis A tervfázisok szimulációs pontossága	28
4.1.1 Különböző épülettervezési fázisok dinamikus termikus épület-szimulációinak potenciálanalízise	29
4.1.2 Dinamikus, termikus épület-szimulációk döntéstámogató potenciálanalízise	33
4.2. 2.Tézis A szimulációs modellezés racionalizálása	39
4.2.1 Geometriai racionalizáló modellezési technika	40
4.2.2 Térszerkezeti és gépészeti racionalizáló modellezési technika	42
4.2.2 Matematikai modellezési technika	42
4.3. 3.Tézis A dinamikus termikus szimulációk pontossága	45
4.4. 4.Tézis A Komfort / Energia tényező	51
4.4.1 Egy gyakorlati esettanulmány komfort-energia tényezői	52
4.5. 5.Tézis Szimulációs energiamenedzsment	60
4.5.1 Kikapcsolási potenciál	61
4.5.1 Bekapcsolási potenciál	68
5. A kutatás elért eredményei és alkalmazási területei, hasznosíthatósága	71
6. A kutatási terület további perspektívái	71
Hivatkozások	75
Saját publikációk a témában	76



## 1. A kutatás célkitűzése

Az Európai Parlament 2021-től érvényes közel nulla energiaigényű épület (NZEB, Net Zero Energy Building) [1] követelményének megfelelően és az ezzel összefüggő egyre szigorodó épületenergetikai előírások következtében az építőipar és az épített környezet általános változáson megy keresztül. A jelenlegi hazai és nemzetközi szakmai és tudományos körökben az elméleti épületenergetikai számítások területén jelentős pontatlanság figyelhető meg a valós épületek mért energiafogyasztási eredményeihez viszonyítva. Ezért elengedhetetlen egy olyan tervezési módszer kidolgozása, mely az immáron alapvető energetikai elvárásokat figyelembe véve az első vázlatoktól kezdve, a tervezés teljes folyamatát végigkísérve, holisztikus és megbízható számszerűsített támpontot ad minden szakágnak mind új épületek tervezése, mind pedig a meglévő épületállomány felújítása során.

Jelenleg a dinamikus, termikus épület-szimulációk a leghatékonyabb tervezéstámogató eszközök, melyek tervezési folyamatba való integrálásával - elvileg - megfelelő pontossággal lehetséges a meghatározott célértékek elérése [2]. A szakirodalomban fellelhető kutatási eredmények alapján ezen szimulációs technika megbízhatóságának és pontosságának empirikus igazolása viszont még csak egyes gépészeti- és épületelemekre történt meg, teljes komplex épületre és gépészeti rendszerekre még nem, esetleg kivételes esetekben, nem reprezentatív kis számban [3, 4]. **Alapvető célom tehát ezen szimulációs tervezési módszer potenciáljának felmérése és komplex, teljes épületre való alkalmazhatóságának méréseken alapuló igazolása, valamint mérésekkel támogatott valóságű, pontos szimulációs tervezéstechnika kifejlesztése, elérése.**

Vizsgálataim folyamán nem elegendő kizárólag energiaigény, illetve fogyasztás oldaláról megközelítve kezelni a felmerülő épületenergetikai kérdéseket, hanem elengedhetetlenül szükséges az épületklimatikai, komforttechnikai szempontokat is figyelembe venni, mivel a vállalható, fenntartha-

tóan és egyben hatékonyan előállítható kényelem a komfort és energia szempontjainak külön-külön kezelésével gyakorlatilag elérhetetlen. A hatékony napi munkavégzéshez elengedhetetlenül fontos az épületet használó emberek jó közérzetének biztosítása, hiszen a diszkomfort hátrányosan befolyásolja a munkavégző képességet (termelékenységet), sőt az egészségi állapotot is. A különböző funkciójú helyiségek és épületek más-más komfortszínvonalon használhatók rendeltetésüknek megfelelően, így azok energetikai vonzatai is különbözőképpen jelentkeznek. Ehhez párosul, hogy a középületekben kialakított – szabványban rögzített – megfelelő belső környezeti paraméterek kialakításához és azok fenntartásához az épületek kritikus mennyiségű energiát használnak fel. Azonban az ezeket a szempontokat komplex módon figyelembe vevő differenciált, klímazóna alapú épülettervezés és üzemeltetés az építőipari elméletben és gyakorlatban még nem terjedt el. Annak ellenére, hogy olyan első tervezési módszerek, melyek az épületbelsőben kialakított komfortviszonyokat és azok energetikai vonzatait komplex módon szintetizálva, egymással kölcsönhatásban kezelik már megjelentek az építéstudomány területén (ClimaDesign, ENERGIA DESIGN®)[5], megállapítható, hogy az eddigi kutatások, szakirodalom és szakmagyakorlat mindezek ellenére nem foglalkozik az épületekben kialakított klimatikai paraméterek komfortérzetre való hatásának komplex, adaptív rendszerbe foglalásával, valamint ezeknek az energiafogyasztásra gyakorolt összetett hatásmechanizmusával. További kiemelt célom, hogy az említett tervezési módszerek [5] speciális, még nagyon új épület-szimulációs technikáját mind komfort, mind energiafogyasztás szempontjából valós mérésadatgyűjtés segítségével fejlesszem, - így ezúton az egész tervezési folyamatra kihatóan megbízható tervezéstechnikát és egyre hatékonyabb épületek megvalósítását tegyem lehetővé.

A kutatáshoz rendelkezésre áll egy referenciaépület, mely az új, speciális ENERGIA DESIGN® tervezési módszerrel [6, 7] a kutatócsoport által tervezett, valamint az egyetemmel kutatási megállapodás keretében [8], valósult meg, prototipikus ipari- és irodaépület (Komló, Rati Kft iroda-, üzem-



és raktárépülete) formájában. A referenciaépület a szimulációk és az azt igazolni hivatott mérések terepét adja. Kutatási munkámhoz nagyban hozzájárult, hogy az épület építész kiviteli tervét Kistelegdi István generáltervező felügyelete mellett én készítettem (1. ábra).



1. ábra: A komlói Rati Kft iroda-, üzem- és raktárépülete, mint a kutatás demonstrációs terepe

Tekintettel a speciális tervezési és modellezési módszerre [5] és a demonstrációs létesítmény megvalósulásának egyediségére, az épület szintén szolgál olyan professzionális mérés-adatgyűjtő kutatáshoz is, mely nemzetközi szinten is újdonságnak számít. Az épületklimatológiai és épületenergetikai mérés-adatgyűjtés, valamint szabályozás folyamán az épület energiafogyasztásának minimalizálása az elsődleges prioritás, az épület belső helyiségeinek használatfüggő, különböző színvonalú, megfelelő komfortnívójának biztosítása mellett. Az épületfelügyeleti mérési eredményekkel a speciális ENERGIA DESIGN® tervezési módszer dinamikus klimatikai-energetikai szimulációit, az áramlástan (CFD) szimulációkat és a szélcsatorna méréseket lehet nagyfelbontású, részletes eredményekkel igazolni. A közvetlen mérési eredmények segítségével az ENERGIA DESIGN® tervezési módszer keretében alkalmazott épület-szimulációs technikát valóságghű épület-szimulációs modellezési szintre szándékozom fejleszteni, melyhez a

szoftver gyártója és fejlesztője által rendelkezésre bocsátott fejlesztői (béta) szoftververzió alkalmazása is hozzájárul. A PTE Energiadesign tanszékének a TU München kutatóival fennálló „Épületek termikus teljesítmény menedzsmentje különböző épületszerkezetek és épülettípusok tekintetében” („Load management in buildings considering various construction types and building services”) kutatási programja a mérésekkel támogatott szimulációs modellezés segítségével a megújuló forrásból előállított villamos energia épületekben való termikus raktározásának kérdéskörével foglalkozik, melynek jelen kutatásom és a vizsgált referenciaépület szerves részét képezi. Az igazolt termikus szimulációk segítségével az épület hőtároló képességű szerkezeteinek és a kombinált, geotermikus hőszivattyúval meghajtott alacsony hőmérsékletű felületi temperáló, hőátadó rendszer teljesítmény-menedzsmentjét szándékozom kidolgozni energiafogyasztás minimalizálás és elfogadható termikus belső komfort biztosítása mellett.

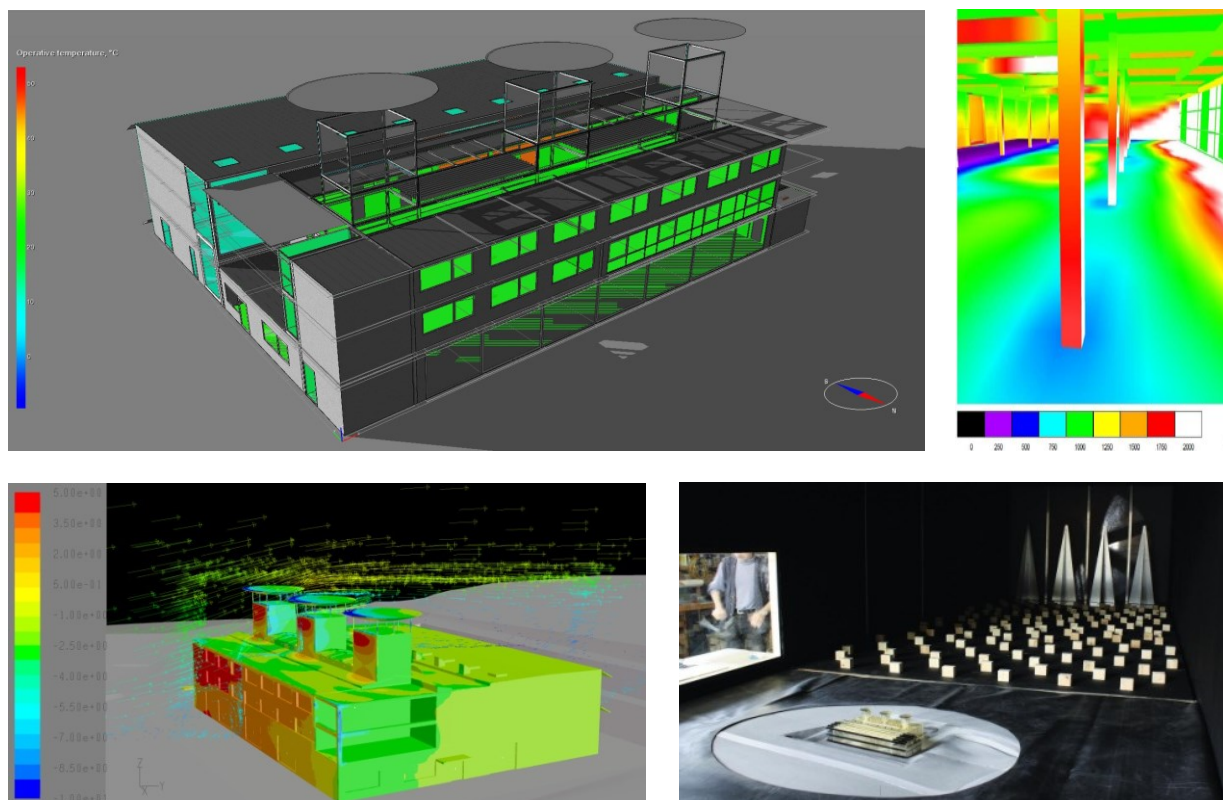
Az eredmények dokumentálása és széleskörű publikációja záróakkordként rögzíti a kutatás eredményeit, általánosított know-how-ját, innovációs potenciálját és további disszertációk háttérét. A projekt bővíti és nagymértékben erősíti a PTE, MIK kutatás-fejlesztési profilját, a kari tanszékek bevonásával (Épületgépészeti Tsz., Környezetmérnöki Tsz., Műszaki Informatika Tsz.) segíti az interdiszciplináris együttműködés kialakítását, elmélyítését, illetve kiszélesítését, az oktatásban való hasznosítását és nem utolsósorban a hallgatói kompetenciát és vonzerőt.

Távlati cél egy, az építőiparban a mai napig hiányzó épületklimatikai és energetikai tervezési és üzemeltetési segédlet kidolgozása nulla-, vagy pluszenergia-mérleggel rendelkező lakó, ipari, iroda és középületek megvalósításához, mely az általam használt mobilis épület-monitoring rendszer és a szimulációk segítségével minden épülettípus esetére megvalósítható. Ezáltal az ENERGIA DESIGN® tervezési eljárás keretében immár valóság-hű, mérésekkel igazolt dinamikus energetikai és klimatikai épület-szimulációkkal lehetséges az innovatív, fenntartható épületek tervezéstá-

mogatása. Eredményként immár kisléptékű, egyszerű épületautomatizálási rendszer segítségével lehetséges optimális energetikai épületüzemeltetést, az épületszerkezetek és az épületgépészeti rendszerek megfelelő összehangolását és a lehető legalacsonyabb energiafogyasztást megvalósítani. Az új elméleti, az építőiparban a mai napig hiányzó épületklimatikai és energetikai tervezési és üzemeltetési segédletet valós épületeken folytatott hosszútávú mérés-adatgyűjtéssel és a szimulációk folyamatos összevetésével szándékozom igazolni. A szimulációk méréses igazolásával a szoftver és a szimulációs technika egyaránt fejleszhető, üzemeltetési koncepciók prognosztizálásával (pl.: hőteljesítmény menedzsment) pedig jelentős energiafogyasztást csökkentés a cél. Az üzemeltetési, felújítási és tervezési segédlet nemzetgazdasági jelentőséggel bír, mert nem csak egyes épületek fogyasztását csökkenti, hanem a településekre készülő energetikai stratégiák kialakítását is segíti. Az épületállomány fogyasztásának optimalizálásával, léptékváltás jelleggel, jelentősen csökkenthető lenne az ország energiafüggősége és egyben CO<sub>2</sub>-kibocsátása.

## 2. A kutatás előkészítése

A kutatási program előkészítése Dr. Kistelegdi István vezetésével, a PTE Energiadesign kutatócsoport által végrehajtott, a Rati épület kísérleti modellezéséből, dinamikus épületenergetikai- és klimatikai szimulációiból (szoftver: EQUA – IDA ICE 4.5), szélcsatorna méréssorozat tesztelésből [8], áramlástan - CFD) és fénytechnikai szimulációkból (2. ábra), az épületbe telepített monitorozó és vezérlő –épületfelügyeleti rendszer műszer- és eszközparkjának, valamint működtető algoritmusának kidolgozásából állt. Ezt az elméleti-kísérleti modellezéses kutatási fázist követi a hosszú távú (kb. 5-6 év) részletes mérés-adatgyűjtés, rendszerezés, kiértékelés és ennek függvényében a termikus épületmodell igazolása, fejlesztése valamint az épületszabályozás különböző üzemeltetési koncepciók alapján, mely doktori kutatómunkám szerves része.



2. ábra: Az EnergiaDesign módszer tervezéstámogató eszközei (dinamikus energetikai és klimatikai szimuláció (IDA ICE), fényvizualizáció (DIALUX, Relux), áramlási szimuláció (ANSYS) és szélcsatorna mérés

### 3. A kutatás módszere

#### 3.1 A kutatás módszertani lépései

A megfogalmazott kutatási programot a következő módszertani algoritmus alapján végzem:

Első lépésben a referenciaépületen egy 2 éves mérés-adatgyűjtés keretében kapott fizikai paramétereket rendszerezem és kiértékelem az épület beszabályozott állapotában történt klimatikai és energetikai teljesítményét, kapacitását. A monitoring vizsgálat tárgya a hűtési/fűtési üzemeltetési ciklus (geotermikus- és felszínközeli talaj-levegő hőcserélős, napkollektoros és fotovillamos rendszerekkel), valamint a természetes/mesterséges szellőzte-

tési üzemidőszak, mely keretében az épület épületgépészeti és szabályozható, motorizált épületszerkezeteinek összehangolt vezérlését, az összrendszer, mint „organizmus” alkotóelemeinek optimalizált együttműködését vizsgálom. A vizsgálatok folyamán a gépészeti rendszerek mellett a teljes épület aktív (gépesített, szabályozható) és passzív (hőtároló tömeggel rendelkező) épületszerkezeteinek energiateljesítő képességét tesztelem, az objektív komfortérzet minimális követelményeinek biztosítása és az energiafogyasztás minimalizálása mellett.

A mérések megvalósításához két rendszer áll rendelkezésre. Egyrészt alapvető elvárás, hogy a beszabályozott épületszerkezeti, épületgépészeti és épületvillamosági rendszereket egy, a komplex épület alapvető működéséhez elengedhetetlen, beépített épületfelügyeleti mérő és vezérlő automatikai rendszer (Building Management System -BMS) hatékonyan működtesse. Mivel cél a komplex létesítmény energetikai-klimatikai, nagyfelbontású, teljeskörűsége törekvő méréses elemzése és komplex szabályzó optimalizációja, mely egy további speciális épületfelügyeleti monitoring rendszert igényel. Egy ilyen feladatot ellátó, különböző épületekbe be- és kiépíthető megoldást a Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Energiadesign tanszékének mobilis felügyeleti rendszerével (Mobile Monitoring System - MMS) lehetséges megvalósítani, mely jelen esetben, először a Rati Kft. demonstrációs épületében lett telepítve a kutatási program végéig (3-5 év). Az MMS berendezések bővített felbontást adnak az épület energetikai-klimatikai rendszeréről, a hőenergia és a villamos energiafogyasztásról, az épületbelső és az épületgépészet hőtechnikai, hőenergetikai paramétereiről és működésbeli karakterisztikájáról, az épület aerodinamikai, áramlástanai viselkedéséről (anemometriás mérések). Az MMS mérésadatgyűjtés eredményei alapján egy interfész segítségével a BMS rendszeren keresztül plusz szabályozási lehetőséget biztosít a kísérleti épület összrendszerének további optimalizációjához.

Második lépésben, a mérésadatgyűjtés és kiértékelés időszaka alatt elkészítem az épület dinamikus termikus szimulációs modelljét, komplex multi-

klímazóna alapú épületszerkezeti és gépészeti rendszereket modellezve a megvalósulási tervdokumentáció, illetve a valós épület adatai alapján. Az épületenergia-menedzsment üzemeltetési optimalizáláshoz mindenekeelőtt szükséges az alkalmazott szimulációs technika mérésekkel való igazolása, hiszen csak így biztosítható az épületszimulációk segítségével kidolgozandó optimalizálási folyamat megbízhatósága, a valóság virtuális modellekkel történő, megfelelő pontosságú lekövetése. Az elemzett mérésadatok segítségével a termikus épületmodell fűtési és hűtési szezonális modelljeit kalibrálom a lehető legpontosabb szintre, mely eredményeképpen validált termikus modellt szándékozom létrehozni. Az épületüzemeltetési, energiaoptimalizálási tervek kifejlesztését tehát az igazolt dinamikus, termikus szimulációkkal végzem.

Ezt követően a szimulációkkal kidolgozott energiamenedzsment üzemeltetési koncepciók eredményeit a valós épületben is szándékozom egy következő kutatási fázisban letesztelni, monitorozni. A többéves kutatási program a monitoring mérés-adatgyűjtés, kiértékelés-elemzés és fejlesztési szabályozás fázisait követően, a tapasztalat- és információmennyiség birtokában olyan tudásanyag állítható össze, mely általánosított következtetések formájában széles körben alkalmazható ipari-, iroda- és középületek esetében. A kutatás időtartama szorosan összefügg az elért, illetve keletkező mérési eredményekkel. Mivel nemzetközileg is ritkaság az ilyen nagyfelbontású, hosszútávú, teljes épületet lekövető mérés-adatbázis felállítása, ezért az eredmények pontosságának függvényében célszerűen kb. 3 – 5, illetve akár hosszabb ideig terjedő monitoringozást-vezérlést szükséges megvalósítani; ezt az eddigi mérési-kiértékelési tapasztalatok is alátámasztják. Az eredményekről a Rati Kft. is tájékoztatást és kimutatást kap, amellett, hogy a létesítmény energiamérlege és beltéri klímaháztartása a körülmények függvényében optimalizálva lesz.

### **3.2 Dinamikus, termikus épület-szimulációk**

A hagyományos (hőfokhíd alapú) statikus (stacioner peremfeltételeket alkalmazó) épületfizikai és energetikai számításokkal az egyre komplexebb elvárásokat épületek klimatikai és energetikai teljesítményével (teljesítőképességével) kapcsolatban már nem lehetséges megfelelő pontossággal analizálni, az épületek viselkedéséről nehéz megfelelő egzaktságú megállapításokat tenni. Ezek a stacioner módszerek jellemzően monodiszciplinárisak, eredményorientáltak és korlátozott határok között működnek csak. Rendszerint statikus (általában csak külső) peremfeltételeket vesznek figyelembe és gyakran olyan analitikus módszeren alapulnak, melyek nagyrészt egy nagyon leegyszerűsített szemszögből szolgáltatnak egzakt megoldást (modellezik a valóságot). [2]

A dinamikus energetikai, klimatikai és aerodinamikai (DEKA) épületszimulációk [7] ellenben multidiszciplinárisak, problémaorientáltak és széleskörű alkalmazási területekkel rendelkeznek. A DEKA épület szimulációk dinamikus és időben folyamatos peremfeltételeket vesznek figyelembe és olyan numerikus módszereken alapulnak, melyek a reális világ egy komplex modelljéről közelítő megoldást szolgáltatnak. A dinamikus szimulációs eszközök jelenleg a legfejlettebb elemző eszközök, annak érdekében, hogy fenntartható épített környezetet lehessen megalkotni. A szimulációk alkalmazási területei a gazdasági elemzésektől kezdve játékokon át egészen a műszaki problémamegoldó eljárásokig terjed. Megfelelő alkalmazásban az épületek viselkedéséről alkotott előrejelzések magas fokú tervezési biztonságot nyújtanak, továbbá lényegesen hatékonyabbak és gazdaságosabbak, mint a már megvalósult épületeken elvégzett problémamegoldások. A DEKA épület szimulációk jelentősége a zöld épületminősítő rendszerekben, mint a LEED, BREEAM, DGNB, illetve a törvényhozói oldalon (EPBD) folyamatosan növekszik.

Ennek ellenére meg kell állapítani, hogy a mai tervezési gyakorlatban a szimulációk meglepően kismértékben vannak jelen, és főként a késői tervezési fázisokban, szinte kizárólag részterületek kérdéseiben alkalmazzák

őket: homlokzattervezésben, a nyári túlmelegedés kockázatának vizsgálatakor, hűtési energiaigény meghatározásához vagy épületgépészeti rendszerek méretezéséhez. Pedig fontos hangsúlyozni, hogy a modern számítástechnikával támogatott épület szimulációk kifejezetten a korai tervezési fázisokban képesek a legnagyobb mértékű bekerülési és üzemeltetési költségmegtakarítások elérésére (pl.: épületvariáns kiválasztásához döntéstámogató módszer).

Egy épület tervezése, kivitelezése és üzemeltetése folyamán újra és újra kérdések merülnek fel a diszkomfort kockázata, valamint a teljesítmény és energiaigény szempontjából. Ezek a kérdések mind mélységükben, részletettségük tekintetében, mind „szélességükben”, sokfajtaságukban igen nagy szórást mutatnak: míg kezdetkor ezek a kérdések nagyon általánosan vannak megfogalmazva, úgy idővel egyre jobban pontosodnak és specializálódnak. Viszont sajnálatos módon a kérdések megválaszolásának, a vizsgálatok folyamán az alkalmazott eszközök csak nehezen vagy nem kompatibilisek egymással, tehát ugyanazt az információt újra és újra előről össze kell gyűjteni és be kell adni. Például ílymódon szükséges egy tetőszerkezet dőlését, tájolását és felületét mind az épületburok szerkezet energiahatékonyságának a számításához, mind a természetes megvilágítás szimulációhoz, mind a nyári túlmelegedés kockázatának a megítéléséhez, továbbá a várható szoláris forrásból származó energiatermelés számításaihoz.

Például az általam alkalmazott IDA ICE 4.5 szoftver segítségével a különböző felhasználói szinteknek köszönhetően a felsorolt kérdések és feladatok egyszerre és komplexen kezelhetők. Az *Assistant Level* (asszisztens) szinten egy egyszerű parametrizáló asszisztens segítségével a lényeges és szokásos jellemzőket minimális ráfordítással lehetséges meghatározni. A *Standard Level* (standard) szinten az épület adatainak nagyon részletes beviteléhez választhat a felhasználó, hogy közvetlenül modellez, vagy ifc-formátum segítségével CAD programból importálja az információt. Az *Advanced Level* (haladó) szinten a matematikai modelleket a program auto-



matikusan generálja és előkészíti a solver számára. Igény szerint a modell különböző részeiben pontosabb definiálásra van lehetőség, anélkül, hogy speciális programok alkalmazására szükség lenne. A *Developer Level* (fejlesztői) szinten a felhasználó speciális kérdések esetén bepillantást nyer az egyenletek által leírt fizikai folyamatokba, melyekbe be is lehetséges avatkozni.

A sokrétű alkalmazási lehetőségekből (felhasználói szintből) a különböző tervező szakemberek tevékenységüknek megfelelő felhasználói szintet választhatnak meg. A közös szimulációs környezet lehetővé teszi, hogy egyazon megvalósulási projekt keretében nagy ráfordítás nélkül, egy részletes vizsgálati szintről egy átfogó modellezési szintre váltsunk, majd onnan továbblépve, egy másik részletes modell leképzését valósítsuk meg. Ez a folyamat ugyanakkor erősíti az interdiszciplináris párbeszédet és az épület funkcionális összefüggéseinek a megértését. Az épületszimulációkkal tehát a gyakorlatban még alig felismert potenciált, a szimultán hatékonyság növelést és tervezési biztonságot lehet kiaknázni.

Fontos megjegyezni, hogy a szimulációk nem jelentenek „gyógyírt” minden problémára, - viszont megfelelő módon alkalmazva nagyon sok lehetőséget nyújtanak az épített környezet pontosabb, megbízhatóbb és hatékonyabb tervezésére. [12, 13, 14]

A szimulációk legtipikusabb alkalmazási területei épületekben a következők:

- Épületklimatika, épületgépészet (helységklíma, komfort) termikus szimulációk
- Szerkezetekben végbemenő hőáramlás szimulációk (2D és 3D, statikus és tranziens)
- Légáramlás szimulációk (CFD, computational fluid dynamics, numerikus áramlástan szimulációk)
- Mesterséges és természetes fény-szimulációk

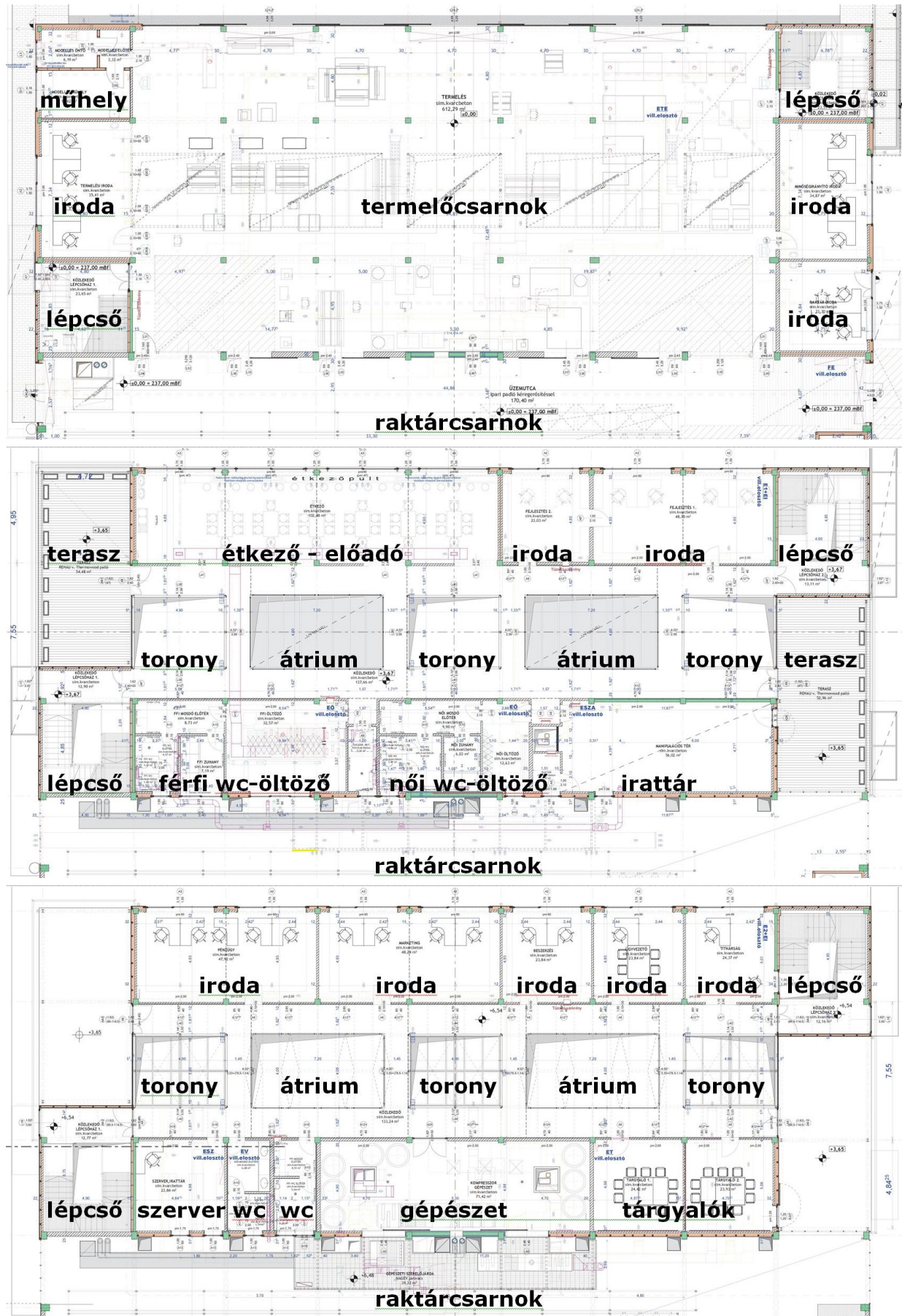
### **3.3 A demonstrációs épület bemutatása**

A 2500 m<sup>2</sup> hasznos alapterületű épület háromszintes északi traktusában a földszinten, egy autóipari műanyag alkatrészeket előállító 600 m<sup>2</sup>-es termelőcsarnok került kialakításra, melynek teljes északi fala polikarbonátból készült, fix és nyitható homlokzati panelekkel. A termelőcsarnokot keletről és nyugatról irodák, egy kisebb műhely és a két lépcsőház határolja, délről a három szint belmagasságú expedíciós raktárhoz polikarbonát ipari kapukkal kapcsolódik. A termelés felett két szinten, központi, egy légterű átriumról nyílóan, északi tájolással irodák és étkező, délen, a raktár falához kapcsolódóan, az első emeleten szociális helyiségek, a második emeleten tárgyalók, vizesblokkok, szerverhelyiség és a gépészeti tér nyert elhelyezést (3. ábra). A kétszintes, a termelőcsarnok felett üvegezett, a tetőzetén polikarbonát borítású átriumot három helyen üvegezett szellőztornyok törik át, melyek a termelőcsarnok természetes szellőzését biztosítani hivatott, az épület karakterét is meghatározó koncepcionális elemek. A tornyok az átrium felett két szinttel aerodinamikailag méretezett szélcsatorna kísérletekkel és numerikus áramlástan CFD szimulációkkal fejlesztett szélterelő elemekkel lettek ellátva [9, 11]. A háromszintes északi épülettömeget keletről és nyugatról kétszintes fedett teraszok, délről a raktár csarnok árnyékolja (4. ábra).

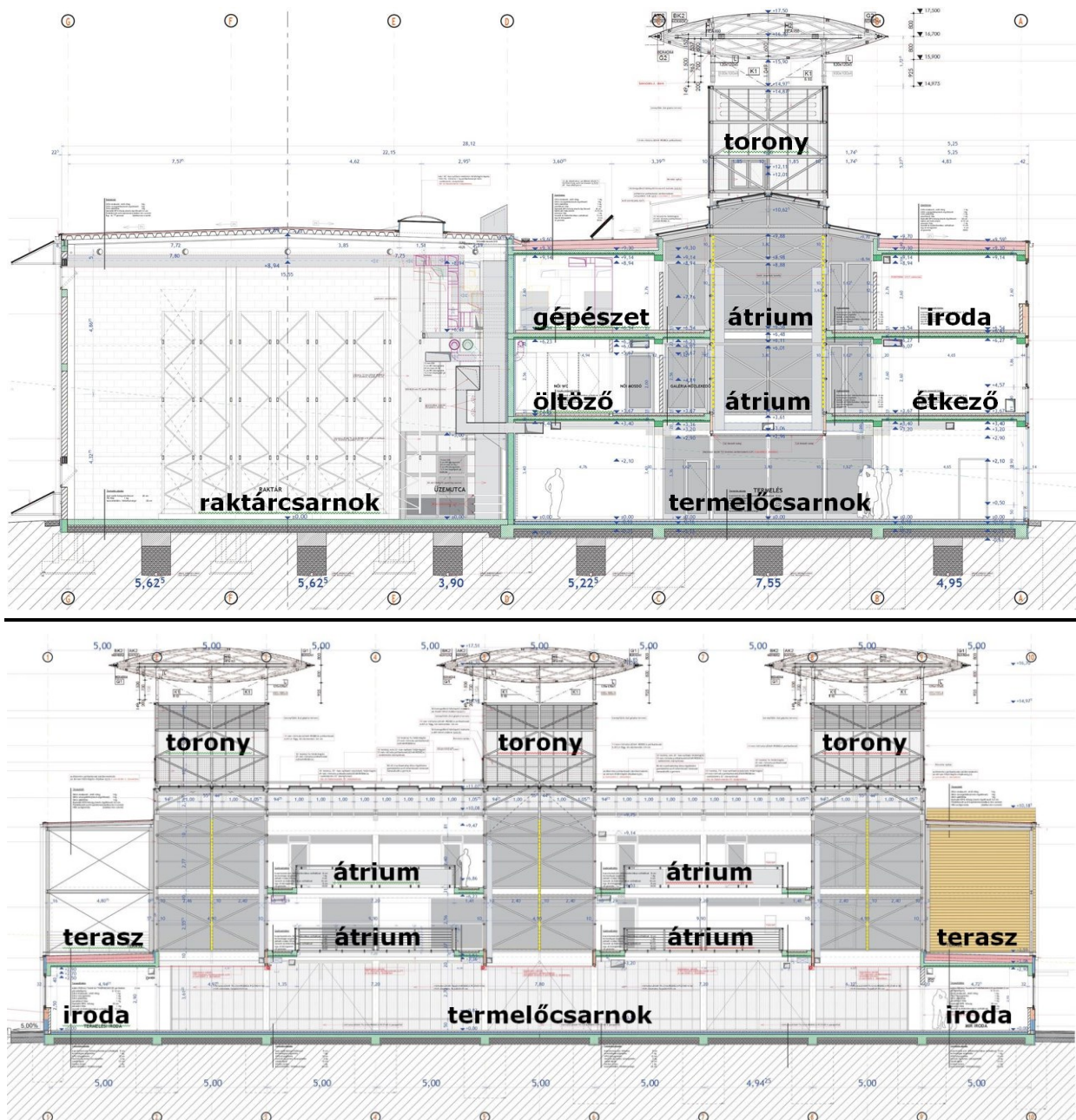
Az épületbe a ma Magyarországon, de nemzetközi viszonylatban is elérhető legkorszerűbb gépészeti rendszer került beépítésre. Az épület temperálását 25 db 100 m mélységű négycsöves geotermikus földszondával (9. ábra) ellátott, 3 db, kaszkád kötésben üzemeltetett hőszivattyú biztosítja a vasbeton födém- és padló szerkezetbe egyaránt beépített felületi fűtő/hűtő rendszeren keresztül. A légtechnikai hálózat 3 db légkezelőjét és központi hőcserélőjét egy 1060 m hosszúságú, a parkoló alatt 3 m mélységben elhelyezett, talaj-levegő hőcserélő csőhálózat (10. ábra) látja el előtemperált friss levegővel. A használati melegvizet az év 80 %-ban a lapostetőn elhelyezett 10 m<sup>2</sup>-es sík napkollektor rendszer biztosítja. Az épület villamos energiaellátásához első ütemben a raktár déli homlokzatán elhelyezett, 51

db, 80 m<sup>2</sup> összfelületű, 12 kWp teljesítményű fotovillamos panelrendszer járul hozzá, mely teljes, 420 db-os kiépítésében pluszenergia potenciállal kecsegtet.

Az épület klimatikai és energetikai koncepciója ENERGIA DESIGN® tervezési módszerrel, komplex szimulációs (termikus, fénytechnikai és áramlás-tani) támogatással került kidolgozásra. A koncepció lényege, egyrészt a meghatározott komfortú helyiségek tudatosan tájolt csoportosítása (emelt-, csökkentett komfortú, nem komfortos zónák) mellett a nagy hatékonyságú gépészeti rendszer használati idejének minimalizálása, a földszondák biztosította nyári, „passzív” hűtési időszak kiterjesztése, az aktív épületszerkezeti elemek (homlokzati-, tető- és torony-nyílászárók) időjárásfüggő használatával az épület természetes szellőztetése tavasszal, és ősszel, nyáron az épület szerkezeteinek visszahűtése éjszakai átszellőzéssel, valamint az épület nagy hőtehetetlen-hőtároló tömegeinek „aktivizálása” az épület temperálásában, hőn tartásában.



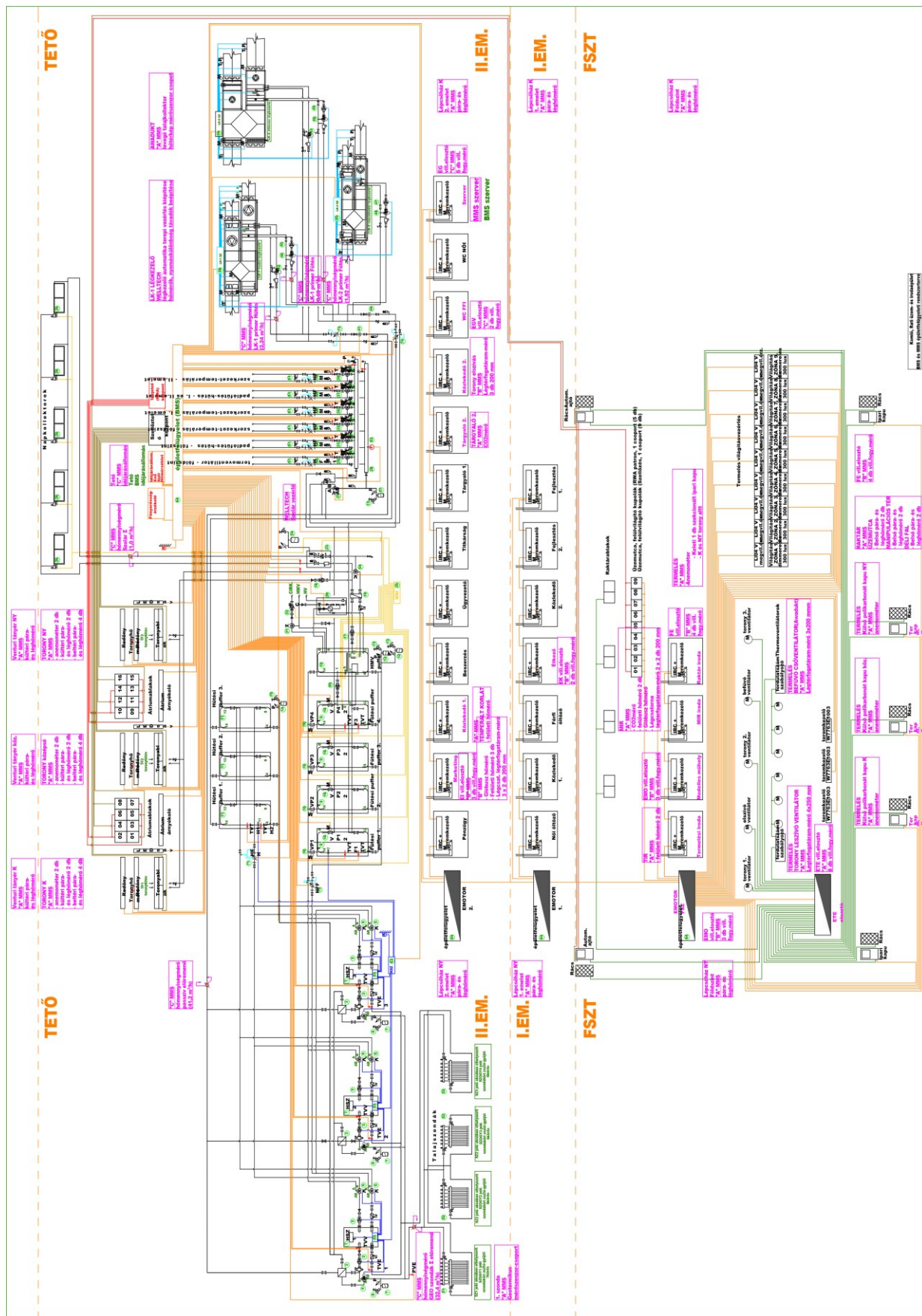
3. ábra: A demonstrációs épület funkcionális elrendezése – földszint (fent), első emelet (közép) és második emelet (lent)



4. ábra: A demonstrációs épület kereszt- és hosszmetsete

### 3.4 A referenciaépület felügyeleti és monitoring rendszere

A komplex referencia épület rendszereinek optimális, egymáshoz igazított működését az épületfelügyeleti rendszeren keresztül (BMS, building management system) szabályozzuk (időprogram alapján automatizálva, vagy kézi beavatkozással). (5. ábra) A demonstrációs épület épületfelügyeleti rendszerének (BMS) mérés-adatgyűjtése az épület 2012. szeptemberi beüzemelése és a rendszer alapbeállításai után 2012. decembertől folyama-



5. ábra: A komlói Rati Kft referenciaépület aktív épületszerkezeti és gépészeti elemeinek épületfelügyeleti monitorozó (BMS+MMS) és vezérlő (BMS) rendszerterve (P & I)

tos. Az épület tényleges és részletes energiafogyasztásáról és a referencia-helyiségek klímaadatairól mérési eredményeket biztosító MMS (mobile monitoring system) rendszer beszerelése és első próbaüzeme 2013. július végén történt meg, megbízható adatot 2013. novemberétől szolgáltat.

A BMS adatgyűjtése és vezérlése leginkább az MMS részletes energetikai és klimatikai adatainak ismeretében segítheti a jövőbeni részletes, optimalizált épület-üzemeltetési koncepciók kidolgozását, majd valós körülmények közötti kipróbálását, emellett jelenleg a hibafelderítésben segít a napi felügyeleti-beavatkozási lehetőségeken keresztül.

A dinamikus előszimulációk energetikai és klimatikai kiértékelését elvégezve, a számított eredményeket a tényleges fogyasztási és klimatikai adatokkal szükséges összevetni, majd kalibrálni.

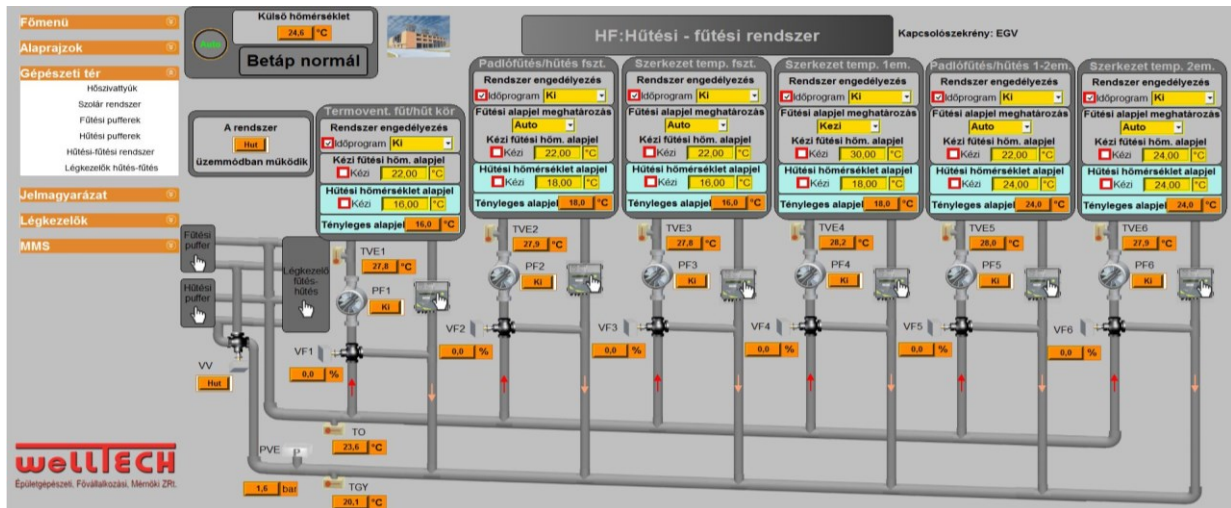
Az épületüzemelési koncepciók tekintetében több, egymással párhuzamos stratégia került kidolgozásra a teljes - MMS érzékelőivel kiterjesztett - épületfelügyeleti vezérlés alapján szabályozható minden egyes aktív épületszerkezeti és gépészeti elem tekintetében. Ezen stratégiák valós kipróbálására még nem volt módunk, azonban a megnövelt felbontású, részletesebb adatgyűjtés alapján már most lényegesen finomabb épületfelügyeleti vezérlés érhető el. Példaként érdemes a szélirány mérésével és a belső huzathatás kontrollját lehetővé tevő anemometriás (légáramlástan) mérésekkel a természetes szellőzés időtartamának – időjárásfüggő – kiterjesztését említeni, mely időszak alatt a gépi rendszerek hosszabb időre kikapcsolhatók, - a belső komfort biztosítása mellett - jelentős energia-megtakarítást eredményezve.

A BMS rendszer alapvetően az épület beépített gépészeti rendszereinek és aktív épületszerkezeti elemeinek (homlokzati kapuk, ablakok, átrium és raktár felülvilágító ablakok és a 3 szellőzőtorony kapui) összehangolását végzi. Máig rendelkezésre áll a kiértékeléshez és szimulációkkal való megbízható összehasonlításhoz szükséges teljes 2 éves időintervallum adatai.

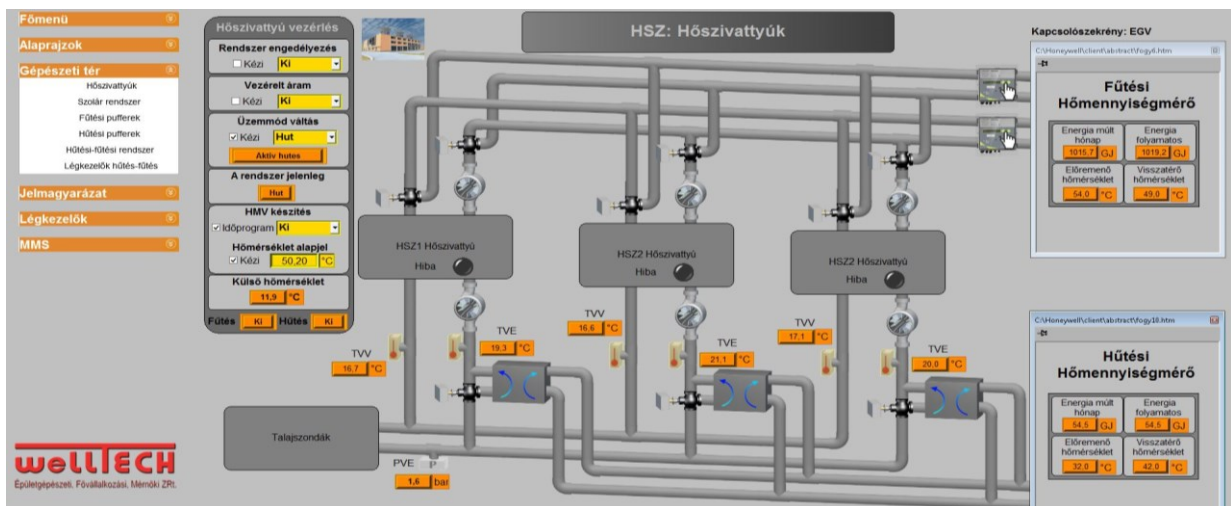
*BMS mért adatok (felbontás: 6 - 60 perc):*

1. Hűtés/fűtés: időjárás-állomás adatai, fűtési körök állapota Ki/Be, előremenő és visszatérő hőmérsékletek (6. ábra)
2. Hőszivattyúk: állapotjelzés hűtés/fűtés, előremenő és visszatérő hőmérsékletek, hűtés/fűtés puffer hőmérsékletek (7. ábra)
3. Ajtók, ablakok: állapotjelzés nyitva/csukva, nyitás mértéke [%], viharjelzés (eső, szél) (8. ábra)
4. Hőmennyiség: hűtési/fűtési energia [GJ]- fűtési/hűtési puffer, főosztó-gyűjtő fűtési/hűtési körök (6 db)
5. Légkezelők: állapotjelzés ki/be, frekvenciaváltók pillanatnyi áramfelvétele (9. ábra)
6. Légcsatornák ventilátorai: állapotjelzés Ki/Be
7. Mesterséges megvilágítás: termelőcsarnok 9 db világítási csoportjának megvilágítási alapjelei és aktuális állapota (lux)
8. IRC (Integrated Room Control) földszint: helyiségek hőmérséklete, relatív páratartalma, értékelés
9. IRC (Integrated Room Control) 1. emelet: helyiségek hőmérséklete, relatív páratartalma, értékelés
10. IRC (Integrated Room Control) 2. Emelet: helyiségek hőmérséklete, relatív páratartalma, értékelés (10. ábra)
11. IRC (Integrated Room Control) 2. Emelet alapjel: helyiségek alapjel hőmérséklete
12. Toronyredőnyök: állapotjelzés nyitva/csukva, nyitás mértéke [%], viharjelzés (eső, szél), napsugárzás (lux)
13. Átrium árnyékolók: állapotjelzés nyitva/csukva, nyitás mértéke [%], napsugárzás mértéke [lx]
14. Hűtés/fűtés alapjel: helyiségek alapjel hőmérséklete [°C]

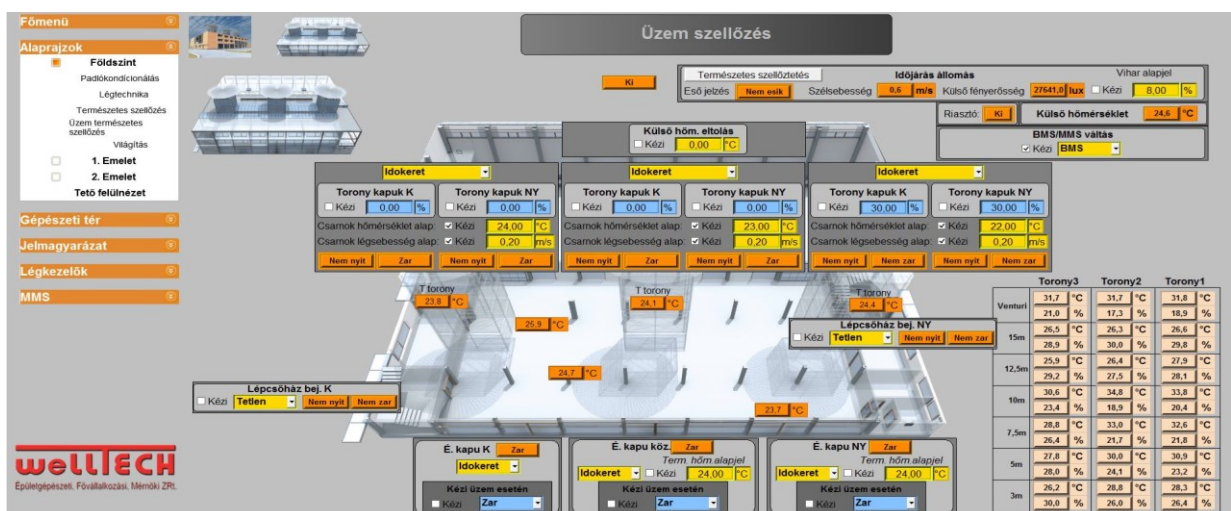




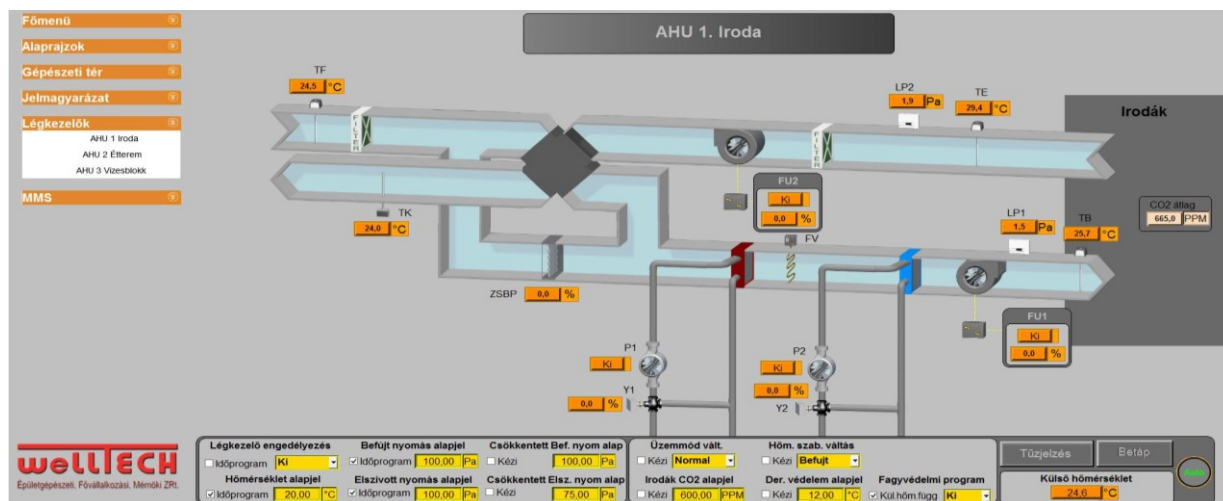
6. ábra: A demonstrációs épület épületfelügyeleti vezérlő rendszerének (BMS) távfelügyelettel is elérhető beállítótáblája – hűtési–fűtési körök főelosztója



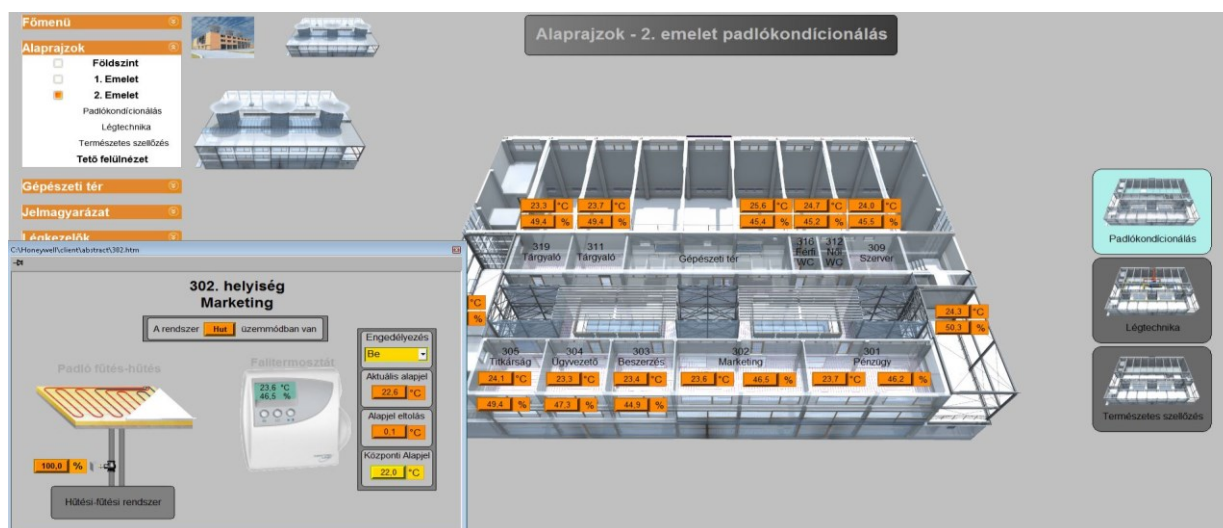
7. ábra: A demonstrációs épület épületfelügyeleti vezérlő rendszerének (BMS) távfelügyelettel is elérhető beállítótáblája – hőszivattyúk állapotjelző és beavatkozó panele



8. ábra: A demonstrációs épület épületfelügyeleti vezérlő rendszerének (BMS) távfelügyelettel is elérhető beállítótáblája – a termelőcsarnok természetes szellőzése



9. ábra: A demonstrációs épület épületfelügyeleti vezérlő rendszerének (BMS) távfelügyelettel is elérhető beállítótáblája – irodai légkezelő

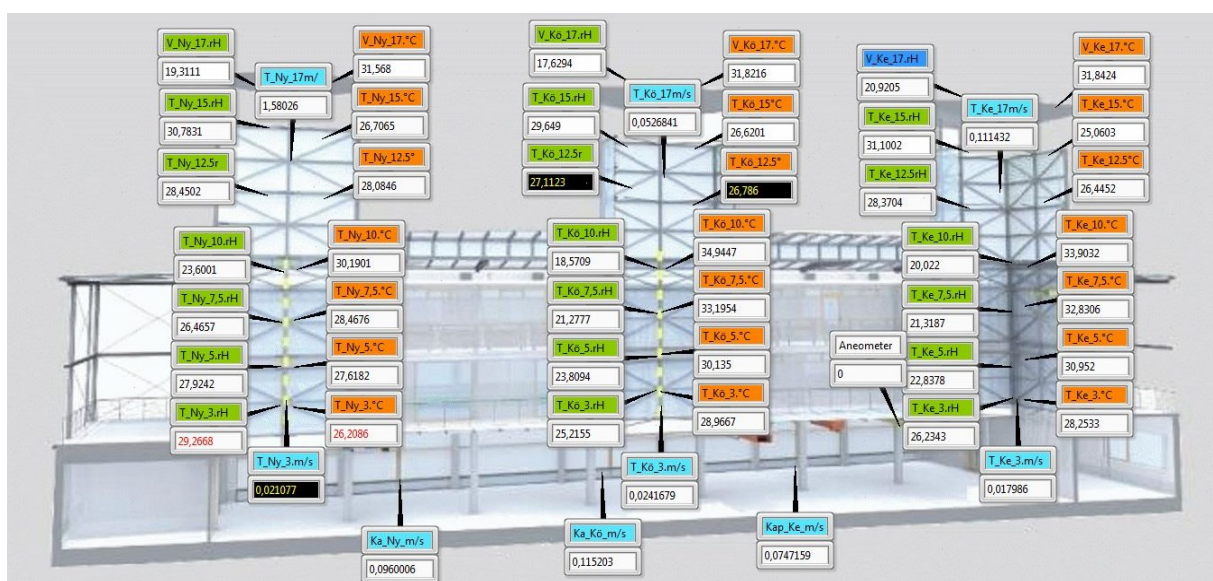


10. ábra: A demonstrációs épület épületfelügyeleti vezérlő rendszerének (BMS) távfelügyelettel is elérhető beállítótáblája – hőszivattyúk állapotjelző és beavatkozó panele

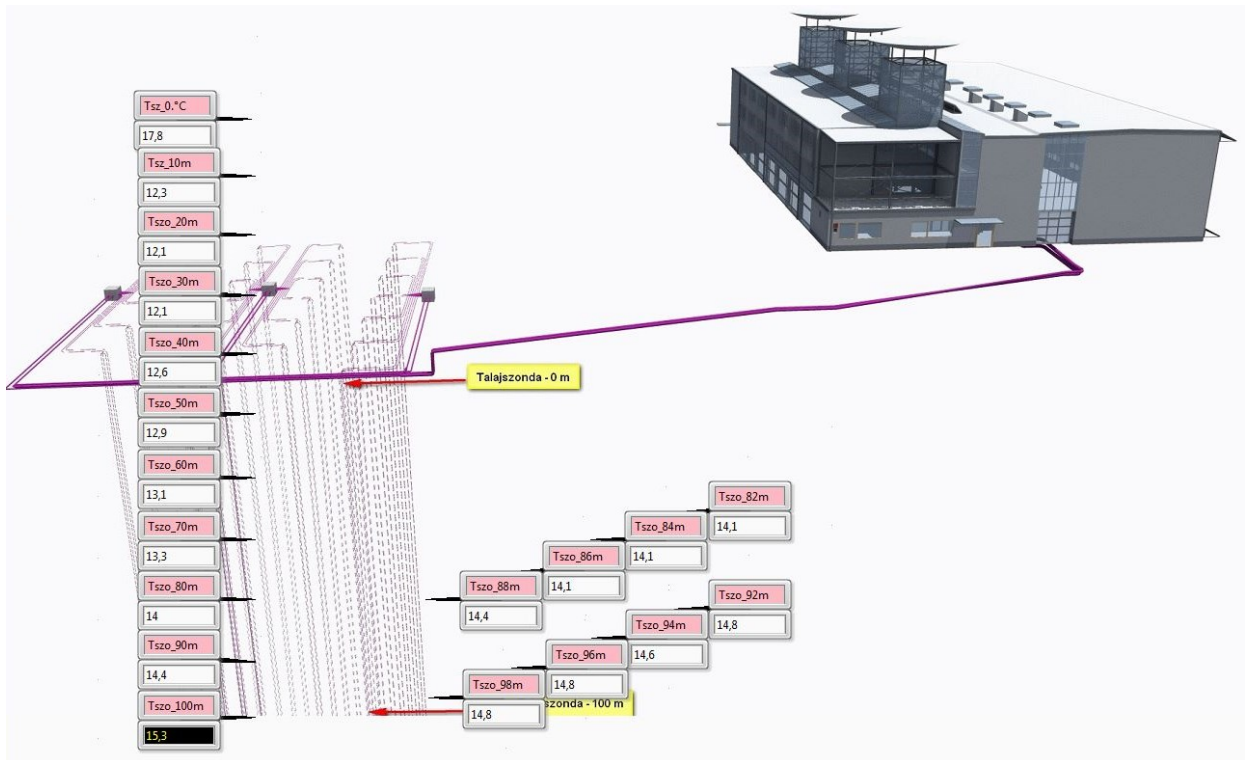
**MMS mért adatok (felbontás: 6 - 60 perc):**

1. Referenciahelyiségek (iroda: Nyugat, Kelet, Észak) kiegészítő klimatikai- és komfort mérése:
  - operatív hőmérséklet, 3 db glóbusz hőmérő [°C]
  - felületi hőmérséklet, 6 db felületi hőmérő [°C]
  - CO<sub>2</sub>, 5 db CO<sub>2</sub> mérő [rpm]
2. A szellőztornyok beltéri- és kültéri hőrétegződésének mérése
  - relatív páratartalom: 3x4 db belső + 3x3 külső relatív páramérő [%] és
  - léghőmérséklet mérő [°C] (11. ábra)

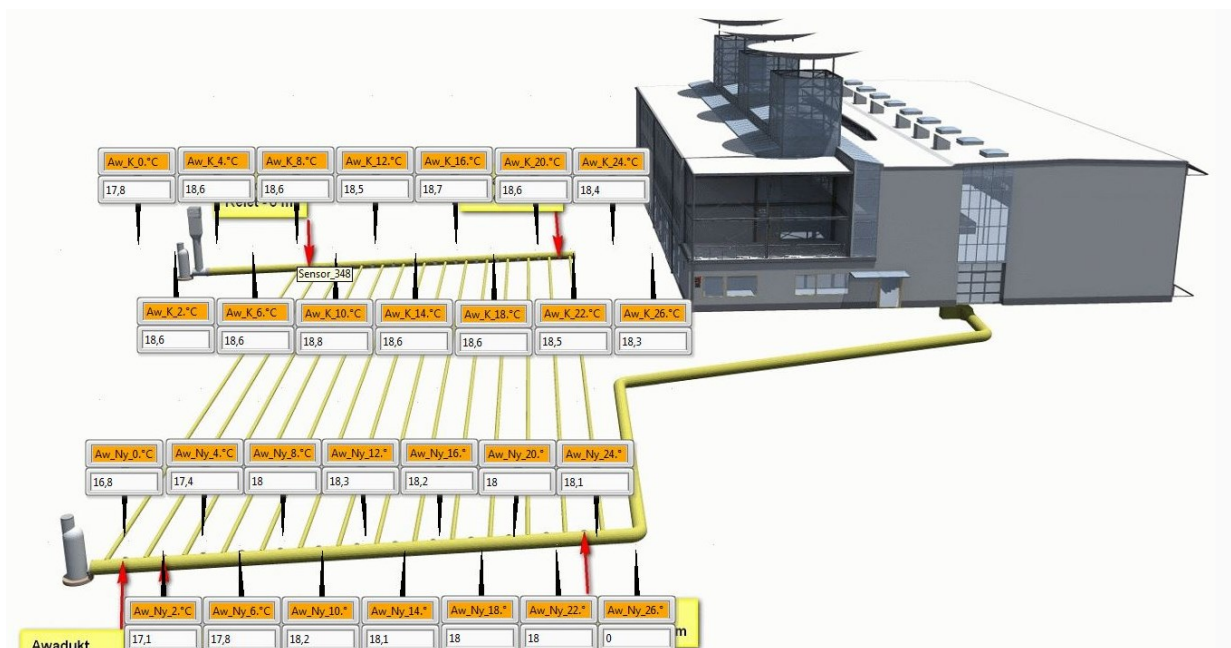
3. A szellőztornyok és homlokzati szellőztető kapuk anemometriás mérése, légsebesség [m/s]: tornyok: 3 x 2 db  
termelés kapuk: 3 x 1 db anemométer
4. Kiegészítő terek (lépcsőházak és raktár) hőrétegződésének mérése
  - hőmérséklet és relatív pára, lépcsőházak: 2 x 3 db,  
raktár: 3 x 2 db belső hő- és páramérő [°C] [%]
5. Talajszonda hőterkép mérése, 0-80 m / 10 m-enként, 80-100 m / 2 m-enként, összesen: 19 db hőmérséklet érzékelő [°C] (12. ábra)
6. Talaj-levegő hőcserélő hőterkép mérése:  
2 x 2 - 26 m, 2 x 14 db hőmérséklet érzékelő [°C] (13. ábra)
7. Villamos fogyasztásmérés:
  - világítás-csoportok, gépészeti berendezések, irodák
  - 27 db villamos fogyasztásmérő [kWh]
8. Gépészeti hidraulikai rendszer hőmennyiségmérése:  
6 db hőmennyiségmérő [GJ]
9. Gépészeti légtechnikai rendszer légtérfogat-áram mérése:  
3x2 db légtérfogat-áram mérő [m<sup>3</sup>/h]
10. Komplex időjárás adatmérés:  
1 db időjárásállomás – 17 mérési érték
11. Központi irodai légkezelő vezérlése új, mérési pontok alapján (BMS)



11. ábra: A komló Rati referenciaépület kiterjesztett monitorozó rendszerének (MMS) távfelügyelettel is elérhető állapotjelző táblája – a szellőztornyok hőrétegződése



12. ábra: A komlói Rati Kft referenciaépület kiterjesztett monitorozó rendszerének (MMS) távfelügyelettel is elérhető állapotjelző táblája – talajszonda



13. ábra: A komlói Rati Kft referenciaépület kiterjesztett monitorozó rendszerének (MMS) távfelügyelettel is elérhető állapotjelző táblája – levegő-föld hőcserélő

Az első két éves BMS épületbeszabályozási és üzemidőszak alatt szerzett működésbeli tapasztalatok és az épületfelügyeleti rendszer, illetve a szimulációk eredményeinek visszacsatolása alapján a dinamikus szimulációk és

valós mérések segítségével érjük el a referenciaértékű demonstrációs épület valós, maximális energiahatékonysági teljesítményét és ezzel egyetemben a tervezett pluszenergia mérleget, melyből nyert tapasztalatok általánosítása alapvető célkitűzése a kutatásnak.

## **4.Új tudományos eredmények**

### **4.1 1. Tézis**

A tervezési folyamat különböző, egymásra épülő tervezési fázisaiban (vázlatterv, engedélyezési terv, kiviteli terv, üzemeltetés, felújítás) a terveket különböző részletezettségű dinamikus energetikai és klimatikus épület-szimulációkkal számszerűsített épületfizikai adatokkal és meghatározó döntéstámogató információkkal lehet alátámasztani.

**Megállapítottam, hogy a szimulációk a kivitelezett, mért épület tulajdonságaihoz képest**

- **a vázlatterv fázisában 45-50%-os pontossággal képesek a terv energetikai teljesítményét prognosztizálni.**
- **az engedélyezési tervi fázisban a szimulációk 65%-os,**
- **a kivitelezési tervfázisban 80%-os,**
- **a megvalósulási tervfázisban pedig 90%-os pontosságú energetikai előrejelzést tudnak biztosítani. (14. ábra)**

**A fent részletezett pontosság alapján kijelenthető, hogy a különböző tervezési fázisokban a dinamikus, termikus épület-szimulációk egyedülálló döntéstámogatást tudnak adni a beruházási költségek, az energiahatékonyság és a komfort elvárt szintjének biztosításához.**

Költségoptimalizált (tervezés – építés – üzemeltetés) aktív ház, különösen komplex iroda-, vagy középület az összetett, a környezeti tényezők és az

épülethasználat következtében fellépő, dinamikusan változó épületfizikai folyamatok, valamint a tervezés eredményeként létrejött tájolás, geometria, szerkezetek, épületgépészet és megvilágítás intenzív kölcsönhatása miatt csak kalibrált dinamikus termikus épület-szimulációkkal tervezhető. Egyedül ezen módszerrel lehetséges a folyamatosan változó tényezőket szinergiában kezelni és ezeknek az energiafelhasználásra és komfortra való hatását éves szinten, órás felbontásban, megfelelő pontossággal kiértékelni.

Épület-szimulációk alkalmazásának indokai általánosságban:

- Épület rendszerkomponensek méretezése és hatékony optimalizációja.
- A tervezés folyamán tervezési, szerkezeti, gépészeti variánsok összehasonlítása.
- Célértékek számítása (pl. előre meghatározott komfortszínvonal, energiafogyasztás határértékek).
- Az üzemeltetési költség előrejelzése különböző épületszerkezeti és gépészeti rendszerek esetében.
- Kutatási, kísérleti épületkonceptiók épületfizikai tesztelése, energia igényeinek és belső komfortparamétereinek számszerűsítése.

#### **4.1.1 Különböző épülettervezési fázisok dinamikus, termikus épület-szimulációinak potenciálanalízise**

Számos valós tervezési projekt tapasztalata alapján kijelenthető, hogy a *vázlat*terv fázisában, a különböző tervkonceptiók közötti összehasonlítás folyamán, - azonos komfortszint biztosítása mellett - az energetikailag kedvezőbb építészeti modellvariánsok kiválasztásában a szimulációs támogatás perdöntő jelentőséggel bír mind az építési költségek, mind a várható üzemeltetési költségek szempontjából. Olyan kardinális tervezési alapadatok dönthetők el ezen szimulációs kísérletek során, mint pl. a térszervezésből, a tájolásból, a tömeg A/V hányadosából, üvegezési arányból, árnyékolási

módozatokból, vagy éppen ezek hiányából adódó környezeti energia nyereségek és veszteségek, melyek a végleges bekerülési és üzemeltetési költségeket döntően meghatározzák.

Az elfogadott vázlattevé alapján az *engedélyezési tervfázisban* már konkrét tervezési helyiségprogram alapján, a tervezett épület vonatkozó energetikai szabvány alapú előírásoknak való megfeleltetése a feladat, melyet a dinamikus szimulációk a hagyományos stacioner számításoknál nagyobb felbontásban és pontossággal képesek szolgálni (14. ábra). A tervezett épület különböző, szabvány szerinti hőhidasságot tartalmazó épületszerkezeti és épületgépészeti megoldásainak összehasonlító elemzésével a leghatékonyabb költség- és energetikai megoldás kiválasztásához nyújtanak támogatást. A terv engedélyezéséhez szükséges, energetikai előírásoknak megfelelő épületminősítéshez Észtországban már 2007-től dinamikus szimulációkat javasol a nemzeti szabályozás [9].

A beruházási költségek tekintetében az építészeti döntések hatásai elsősorban a kiviteli tervi fázisban kulminálnak, amikor az anyagok, szerkezetek véglegesítésre kerülnek. A kiválasztáshoz a szimulációk a beépítésre szánt szerkezetek és anyagok energetikai teljesítőképességének modellezésével nyújtanak hathatós segítséget. Ebben a tervfázisban a hőhidasság elemzése már hőáramlástan szimulációk segítségével történik, mely eredményeket a termikus, dinamikus szimulációkba szükséges integrálni. Épületgépészeti szempontból a későbbi energiahatékonyság tekintetében a gépészeti rendszerek részletes meghatározása szintén a kiviteli tervfázisban történik. Ennek köszönhetően a szimulációk ebben a tervfázisban tudják a legnagyobb mértékben támogatni a gépészeti tervezési folyamatot, és meghatározni az engedélyezett tervben rögzített gépészeti koncepció különböző alverzióinak hatékonyságát. Mivel a gépészeti rendszer a beruházási költség tekintetében is meghatározó, ezen tervezési fázis karakterisztikus elemét képezik az épületgépészeti szimulációk.

A legpontosabb szimulációk a már működő épületről készíthetők, különösen, ha ahhoz valós, részletes mérés-adatgyűjtés is rendelkezésre áll (lásd. 3. Tézis). Ekkor az üzemeltetés további optimalizációjával szintén jelentős és hosszútávon biztosítható energetikai megtakarítás érhető el.

A tervezéstámogató szimulációkban tervezési fázisonként a következő alapadatok kerülnek megadásra:

### *1. Vázlat*

- időjárási adatok (például: Meteonorm klíma-adatbázis, 10 év mérési átlagértékei)
- tájolás
- építési környezet karakterisztikája (pl. városi szabadonálló/zárt sorú)
- vízszintes és függőleges helyiségkonfiguráció (tér szervezés)
- épülettömeg geometriája
- üvegezési arány
- szerkezetek (tapasztalat alapján)
- fűtés/hűtés (idealizált fűtési/hűtési rendszer, definiált modellezés nélkül)
- légtechnika (standard légtechnikai modell)
- mesterséges megvilágítás (vonatkozó szabvány alapján)

### *2. Engedélyezési terv*

- konkrét helyiségek (vonatkozó szabvány alapján megadott komfort paraméterekkel)
- szerkezetek (vonatkozó szabvány alapján)
- hőhidak (vonatkozó szabvány alapján)
- nyílászárók (vonatkozó szabvány alapján)
- fűtés/hűtés (idealizált fűtési/hűtési rendszer, definiált modellezés nélkül)
- légtechnika (standard légtechnikai modell)
- mesterséges megvilágítás (vonatkozó szabvány alapján)

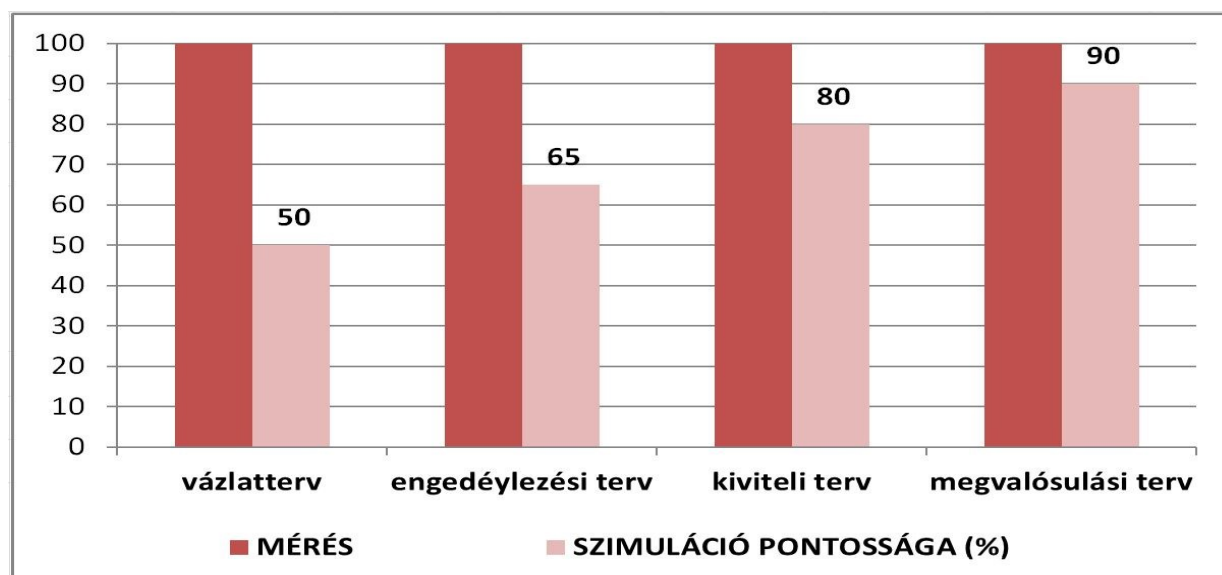


### 3. Kiviteli terv

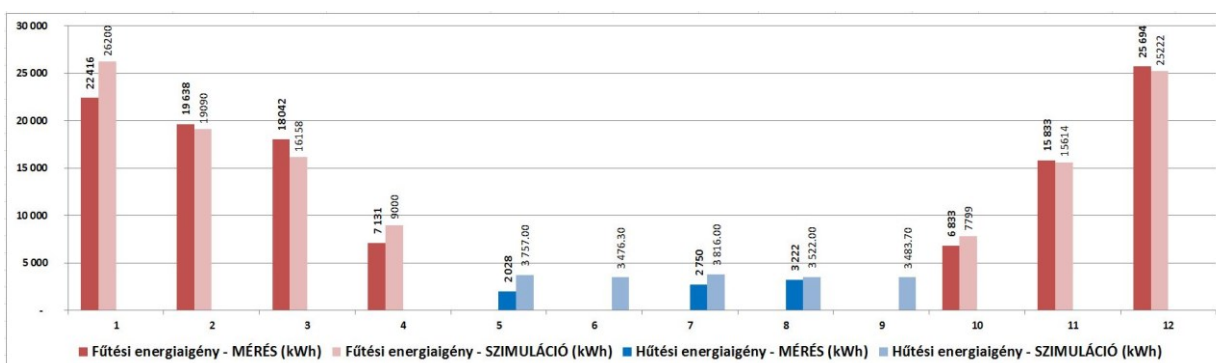
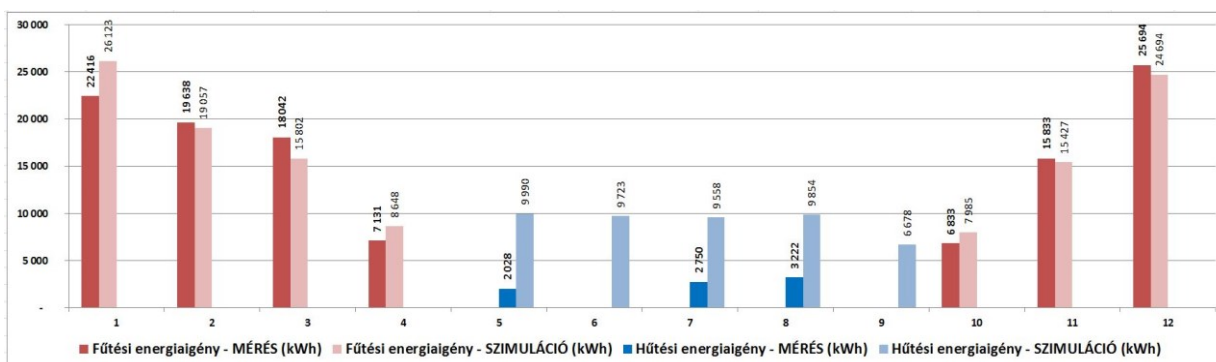
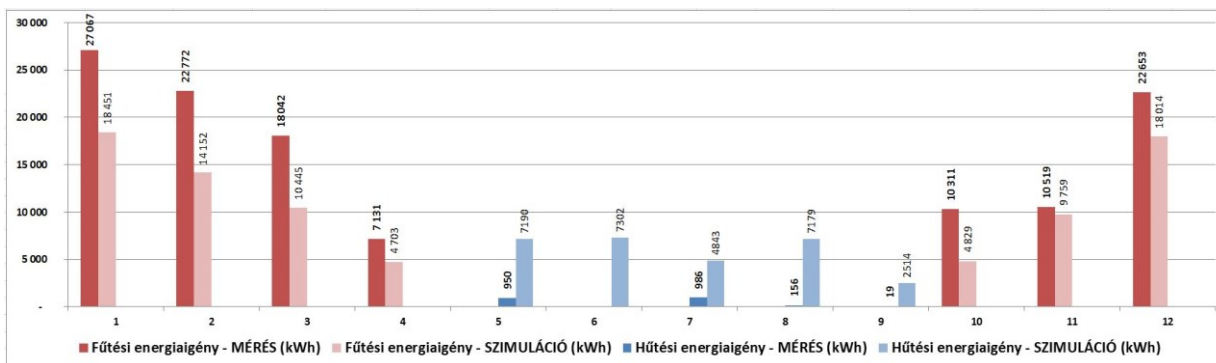
- helyiségek (tervezett komfortparaméterekkel, személyzettel)
- szerkezetek (szerkezetileg és energetikailag méretezett rétegrendek)
- hőhidak (hőtechnikailag méretezve)
- nyílászárók (hőtechnikailag és adott esetben fénytechnikailag méretezve)
- fűtés/hűtés (gépészetileg méretezve, részletes)
- légtechnika (gépészetileg méretezve, részletes)
- mesterséges megvilágítás (villamosságilag méretezve, részletes)

### 4. Megvalósulási terv

- helyiségek (megvalósult dimenziókkal, személyzettel)
- szerkezetek (megvalósult, változás esetén hőtechnikailag újra számszerűsített rétegrendek)
- hőhidak (megvalósult, változás esetén hőtechnikailag újra számszerűsítve)
- nyílászárók (megvalósult)
- fűtés/hűtés (megvalósult, részletes)
- légtechnika (megvalósult, részletes)
- mesterséges megvilágítás (megvalósult, részletes)



14. ábra: A különböző tervezési fázisok dinamikus, termikus épület-szimulációinak pontossága a megvalósult épület mért (100%) energetikai teljesítményéhez viszonyítva



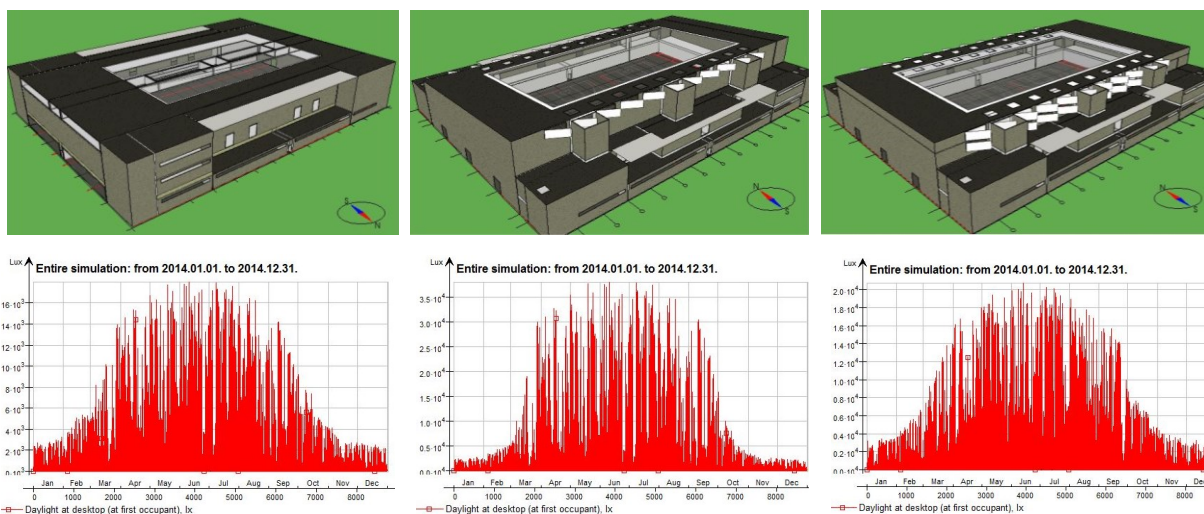
15. ábra: Engedélyezési (fent), kiviteli (középen) és megvalósulási (lent) tervek szimulációs eredményeinek a mérési eredményekkel való összehasonlítása

### 4.1.2 Dinamikus, termikus épület-szimulációk döntéstámogató potenciálanalízise

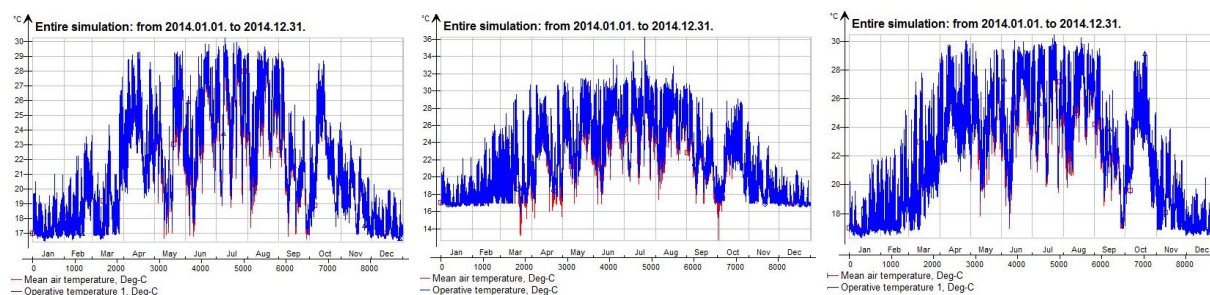
Az alábbiakban további tanulságos tervezési példákkal támasztom alá a szimulációs tervezési metódus gyakorlati hasznosíthatóságát.

Nemzeti Kosárlabda Akadémia pécsi tornacsarnokának tervezésekor felkérést kaptam az építész tervező csapattól tervezéstámogató szimulációk futtatására, vázlattevi, majd engedélyezési tervi variációinak ellenőrzésére, a

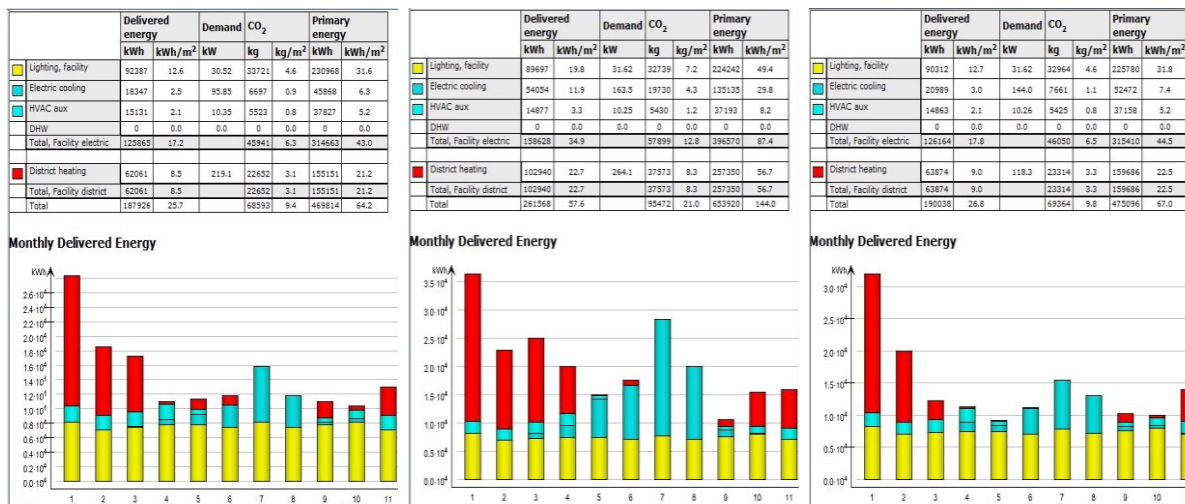
legoptimálisabb komfort/energia változat kiválasztására. A vázlattevi verziók esetében elvégeztem a bázisszimulációkat, melyben modellezési alapbeállításokkal, pusztán az egyes verziók nagyságrendi fény- és hőkomfortjának, valamint fűtési/hűtési, szellőztetési ill. összesített energiaigényének feltárásával támogattam a tervezési folyamatot. Az engedélyezési fázisban már egy optimalizálási folyamathoz szolgáltatam tervezői és beruházói döntéstámogatást egyazon elfogadott tervváltozat egy-, ill. kéthéjú polikarbonát tetőzetének energetikai, fény- és hőkomfort vizsgálatával. A szimulációkkal egyidejűleg lehetett vizsgálni a folyamatosan változó külső klimatikai körülmények és a szintén folyamatosan változó belső használat együttes komplex hatását a belső komfortra és az azt biztosítani képes gépészeti rendszer energiafelhasználására. Az eredmények alapvető támpontot szolgáltattak az egyes verziók közötti választáshoz, illetve az építészeti és gépészeti kialakítás optimalizációs folyamatához. (16-18. ábra)



16.ábra: Pécs, Nemzeti Kosárlabda Akadémia sportcsarnokának engedélyezési modellvariációinak fénykomfort összehasonlítása – 1. kéthéjú modell, 2. egy – és kéthéjú tervváltozat



17.ábra: Pécs, Nemzeti Kosárlabda Akadémia sportcsarnokának engedélyezési modellvariációinak hőkomfort összehasonlítása – 1. kéthéjú modell, 2. egy – és kéthéjú tervváltozat



18. ábra: Pécs, Nemzeti Kosárlabda Akadémia sportcsarnokának engedélyezési variációinak energetikai teljesítmény összehasonlítása – 1. kéthéjű modell, 2. egy – és kéthéjű tervváltozat

Egy tengerparti félszigetre tervezett tömbbeépítés esetén a gépész tervező kért szimulációs támogatást az elfogadott vázlatterv energetikai méretezéséhez. A szimulációkkal az alkalmazandó üvegezés típusára – 2-, vagy 3-rétegű, normál, vagy hővédő bevonattal – és árnyékolására várták a választ, a téli hővesztéssel és a nyári hőterheléssel összefüggésben.

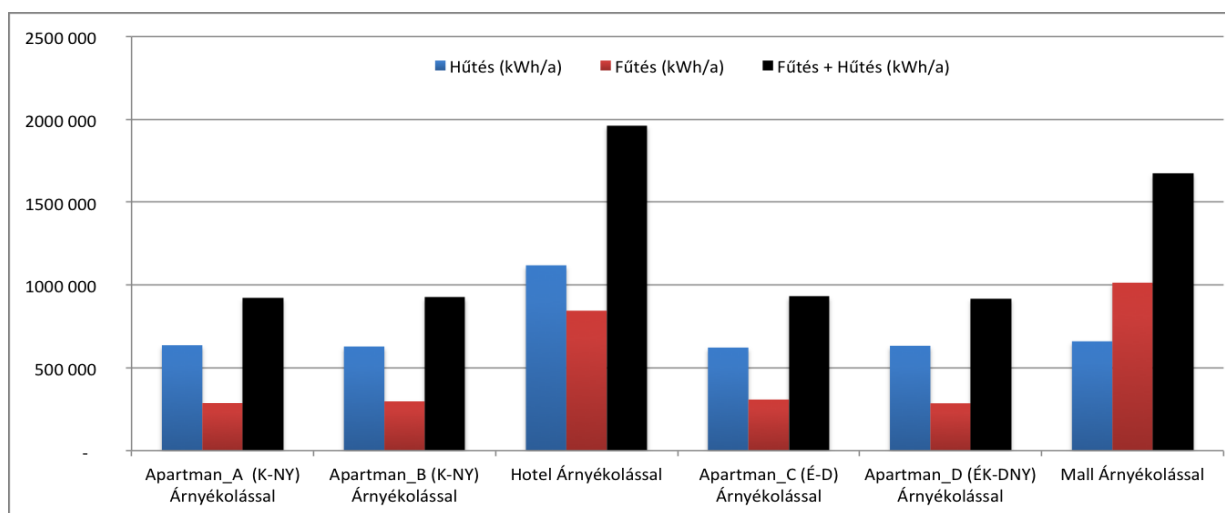
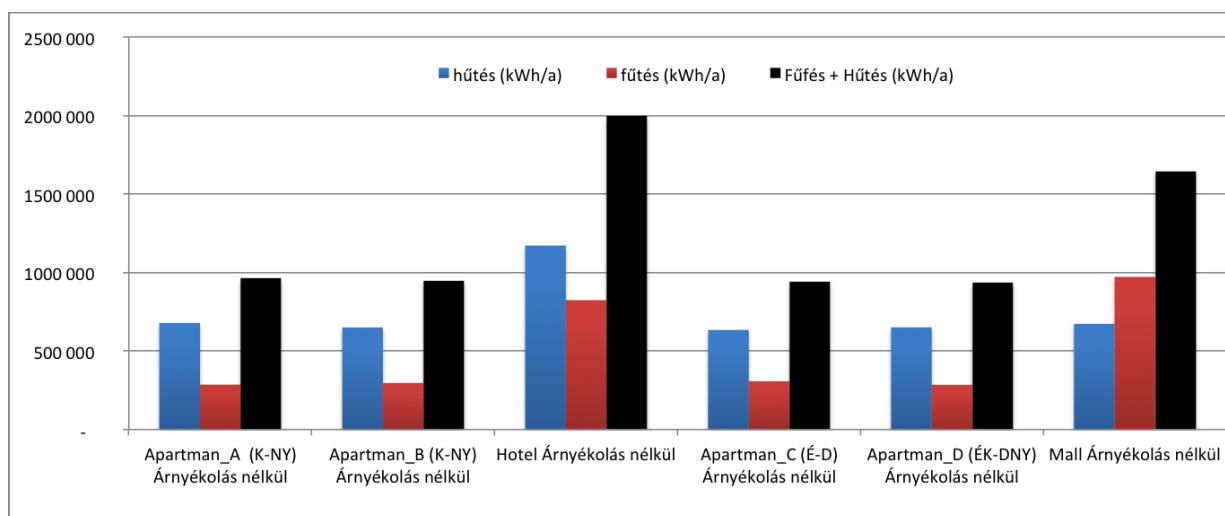
(19. ábra)

A szimulációkkal először a két legeltérőbb tájolású – kelet-nyugati és észak-déli -, ezért az elvben a legnagyobb energetikai különbséget mutató két épület éves fűtési és hűtési energiaigényét határoztam meg minden említett üvegezési és árnyékolási variációval. Meglepetésre a két modell eredményei nem hozták az várt mértékű különbséget és a külső árnyékolás használatának hatása is elmaradt az előzetes várakozástól. A probléma feloldására referenciaként először a jelentős kiülésű (2,25 m) szintenkénti teraszlemezeket hagytam el és szimuláltam, majd a szomszédos épületeket is kivettem a modellből.

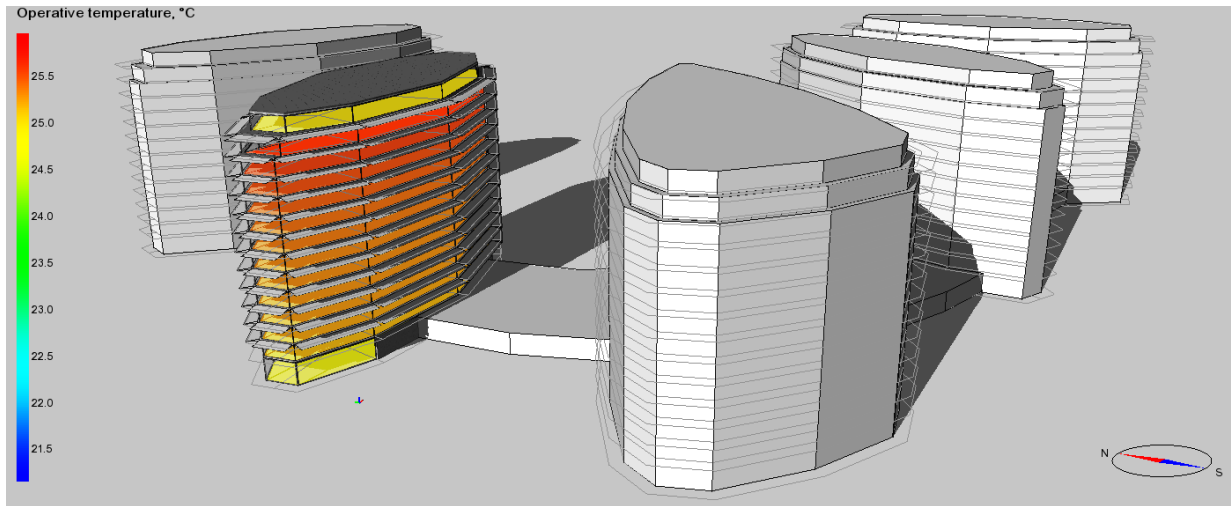
Az eredmények igazolták azt a feltételezést, hogy a teraszok és különösen a szomszédos épületek árnyékoló hatása gyakorlatilag eliminálta a tájolástól és a külső árnyékolástól várt - elsősorban nyári - energetikai különbséget. Ehhez hozzájárult még az épületek formai kialakítása is, mely előre

nehezen megjósolható módon befolyásolta a nyári hőterhelés homlokzati hatását. (20-21. ábra)

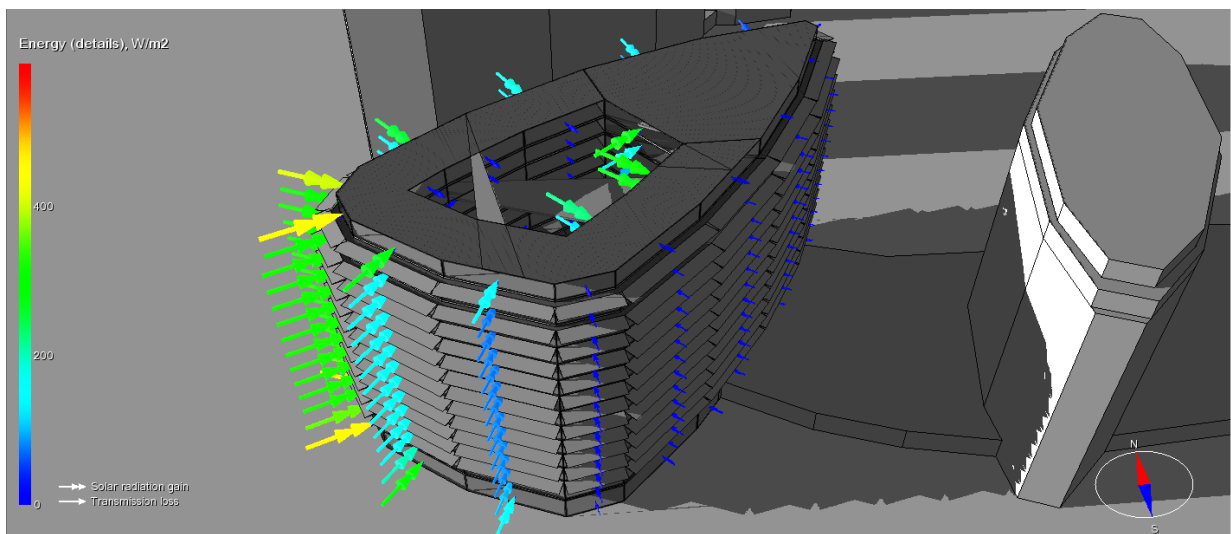
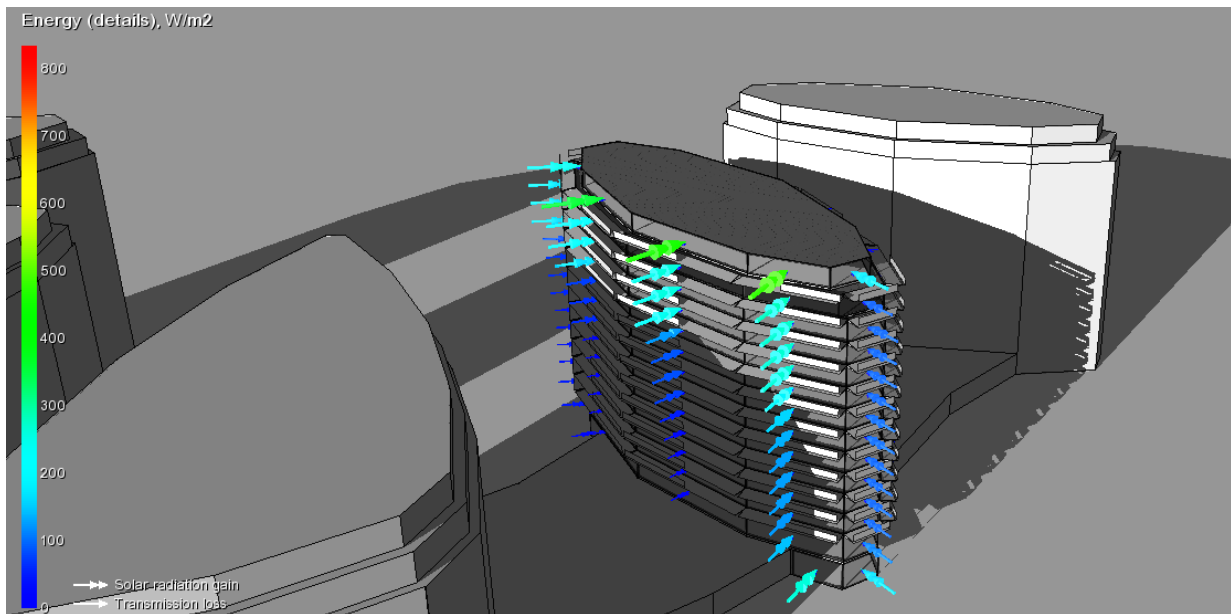
A fenti példa is jól szemlélteti, hogy a folyamatosan változó külső (és belső) körülmények, a tájolás és az épületek geometriájának kölcsönös egymásra hatása a dinamikus szimulációkkal ellentétben, hagyományos, stacioner, vagy kézi számítással már nem, vagy meglehetősen korlátokkal alkalmazható.



19. ábra: Tömbbeépítés vázlattelevi üvegezési variációinak energetikai összehasonlítása



20. ábra: Tömbbeépítés vázlattervi szimulált hőkomfortjának vizualizációja



21. ábra: Tömbbeépítés vázlatterv szimulált hőnyereség - hőterhelés - hővesztés és árnyékolás vizualizációja

## Kapcsolódó publikációk:

- Bálint Baranyai, Bálint Bachmann, István Kistelegdi: '*Simulation-supported design of a Hungarian national sports center*' Pollack Periodica: An international journal for engineering and information sciences (ISSN: 1788-1994). Vol 10.(2), (2015) *Befogadva*.
- Bálint Baranyai, István Kistelegdi (Jr.): '*Energy management monitoring and control of public buildings*', in: Pollack Periodica: An international journal for engineering and information sciences (ISSN: 1788-1994). Vol. 9:(2) pp. 77-88. (2014) HU ISSN 1788-1994 Link: DOI
- Bálint Baranyai, Bálint Póth, István Kistelegdi (Jr.): '*Planning and research of smart buildings and constructions with the 'ENERGYDESIGN roadmap method'*', in: Pollack Periodica: An international journal for engineering and information sciences (ISSN: 1788-1994). Vol.8. (1) pp. 15-26. (2013)
- Bálint Baranyai, István Kistelegdi Jr.: '*Validation of dynamic, energetic and climatic simulations of public buildings with real measurements phase I.*' In: Peter Ivanyi (szerk.) Architectural, Engineering and Information Sciences - 9th International PhD & DLA Symposium: Abstract Book. Konferencia helye, ideje: Pécs, Magyarország, 2013.10.21-2013.10.22. Pécs: University of Pécs Pollack Mihály Faculty of Engineering, 2013. p. 26. (ISBN:978-963-7298-54-7) Befoglaló mű link(ek): OSZK
- István Kistelegdi, Bálint Baranyai: '*Dynamic Simulation Supported Indoor Climate and Energy Building Modelling*' (paper ID A4359) ICCEA 2012 Konferencia Hong Kong-ban konferencia, in: IACSIT International Journal of Engineering and Technology, Vol. 5, No. 2, April 2013.ISSN,1793 8236, DOI: 10.7763/IJET.2013.V5.537
- Baranyai Bálint, ifj. Kistelegdi István: '*Középületek energiafelügyeleti monitorozása és vezérlése*' In: Buday-Sántha Attila, Danka Sándor, Komlósi Éva (szerk.) Régiók fejlesztése 2013/1-3: 2013/3 tanulmánykötetben 12. - 24. o. (ISBN:978-963-642-531-9), Konferencia helye, ideje: Pécs, PTE 2013.05.23-24.

- Baranyai Bálint, Póth Bálint, ifj. Kistelegdi István: '*ENERGIADesign – Polydimenzionális tervezési-kutatási módszer*', In: Buday-Sántha Attila, Danka Sándor, Komlósi Éva (szerk.) Régiók fejlesztése 2013/1-3: 2013/1 tanulmánykötetben 80-92. o. (ISBN:978-963-642-529-6), Konferencia helye, ideje: Pécs, PTE 2013.05.23-24.
- Bálint Baranyai, István Kistelegdi, Bálint Bachmann : '*Potential analysis of dynamic, thermal building simulations and development of measurement aided simulation technique*' - Accepted 2nd International Academic Conference „Places and Technologies 2015” Konferencia helye, ideje: Nova Gorica, Szlovénia, 2015.06.18-19.

## 4.2 2. Tézis

**A szimulációs kísérletek alapján kijelenthető, hogy az általam kifejlesztett geometriai racionalizáló modellezés-technikában az épülettömbökhöz képest a helyiségzónák számának csökkentésével akár 80 %-os számítási gyorsítás érhető el 5% alatti eredmény eltéréssel. Ezen felül megállapítottam, hogy az általam kidolgozott térszerkezeti és gépészeti racionalizáló modellezés-technika keretében a helyiségzónák szerkezeti-geometriai és az azokhoz tartozó gépészeti-technológiai egyszerűsítéseivel (összevonásával) az egyébként jelentősen időigényes szimuláció-futtatás tekintetében további 50 – 60 %-os időmegtakarítás érhető el a számítás pontosságának számottevő (< 5%) csorbulása nélkül. Tehát az *amilyen pontosan csak lehetséges* modellezési megközelítés helyett, az *amilyen pontosan csak szükséges* épületfizikai modellezés-technika kifejlesztésével lényegesen komplexebb épületek szimulációi is elérhetővé válnak.**

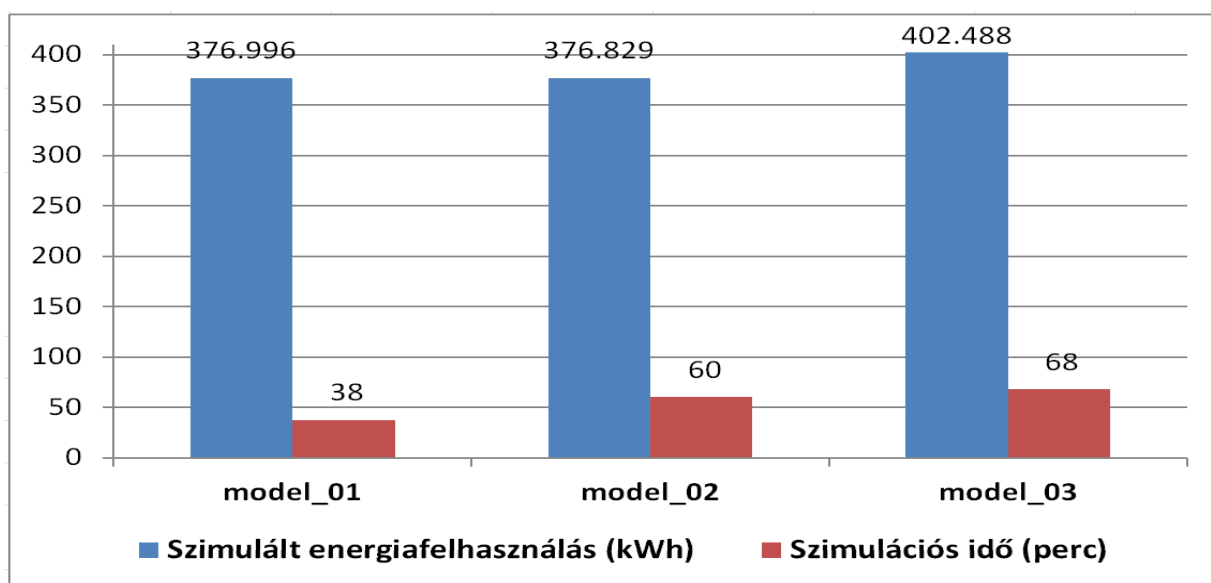
**Összetett épületszerkezeti és épületgépészeti rendszerek esetében a valóságot megfelelően lekövető szimulációs megoldások csak a program matematikai modelljében lehetségesek. A dinamikus, termikus épület-szimulációt alkalmazva leképeztem a valós referenciaépület komplex felületi sugárzó hőátadó és geotermikus légtechnikai gépészeti rendszereinek matematikai modelljeit.**



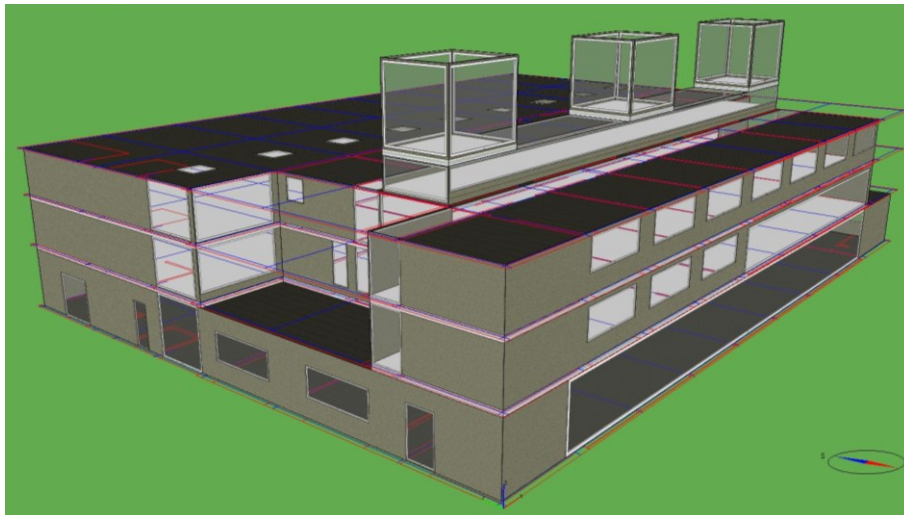
### 4.2.1 Geometriai racionalizáló modellezési technika

A szimulációs modell szintenkénti, vagy több szintet magában foglaló épülettömeg-tömbökből (building body) áll, melyeket helyiségenkénti klímazónákkal lehet feltölteni. Az épülettömbök mindegyike a mindenkori belső tér határát jelöli ki, jeleníti meg a programban, melyek mentén a külső tér felé, illetve onnan befelé a hőcsere, hőkiegyenlítődés megtörténik. A modellezési technikát alapvetően meghatározó térlehatárolás, illetve annak módja a tapasztalatok alapján jelentős kihatással van a szimuláció időtartamára. Emiatt fontos volt feltérképezni a program számítási időtartamát meghatározó alapelemek (épülettömbök és helyiség zónák) egymáshoz viszonyított geometriai kialakításának optimális módját. Az épület geometriáját különbözőképpen lekövető modellezési megoldásokat a referenciaépület modelljén elvégzett szimuláció kísérletsorozat számszerűsíti.

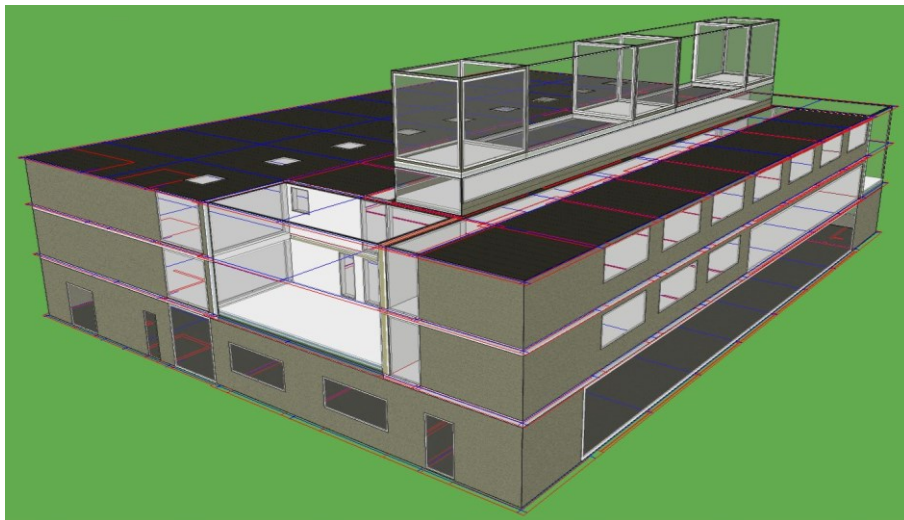
Az eredmények kiértékelése alapján kijelenthető, hogy a szimuláció lefutásának időtartamára leginkább a modellben használt zónák számának van kihatása (akár 181 %), míg a külső-belső tér lehatárolását kijelölő, a zónákat magában foglaló épülettömbök számának kevésbé, mialatt az eredmények szórása hibahatáron belül marad ( $< 5\%$ ). (22-25. ábra)



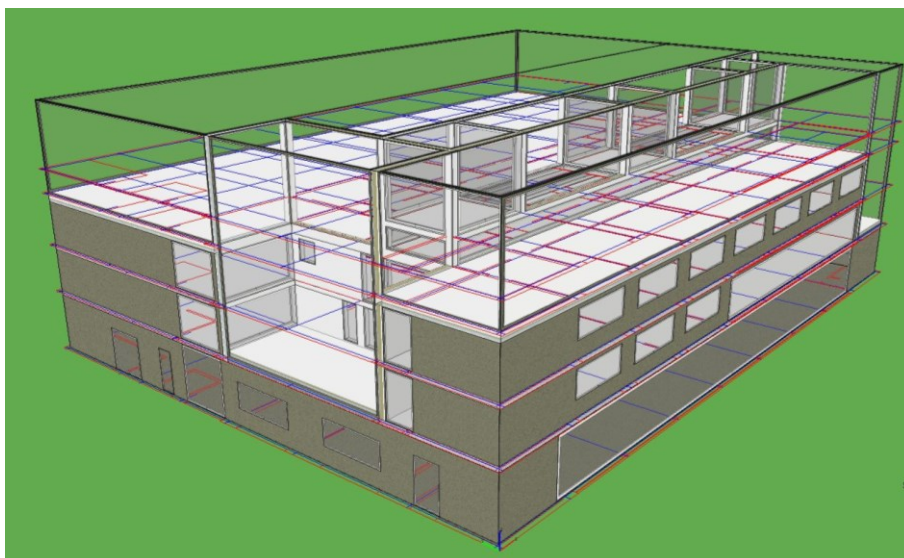
22. ábra: Modellezési technika – a 3 modellvariáció összehasonlítása szimulációs eredmény és szimulációs időtartam alapján



23. ábra: Modellezési technika – 1. modellvariáció – 6 db 'épülettömb' + 7 db 'zóna'



24. ábra: Modellezési technika – 2. modellvariáció – 2db 'épülettömb' + 11db 'zóna'

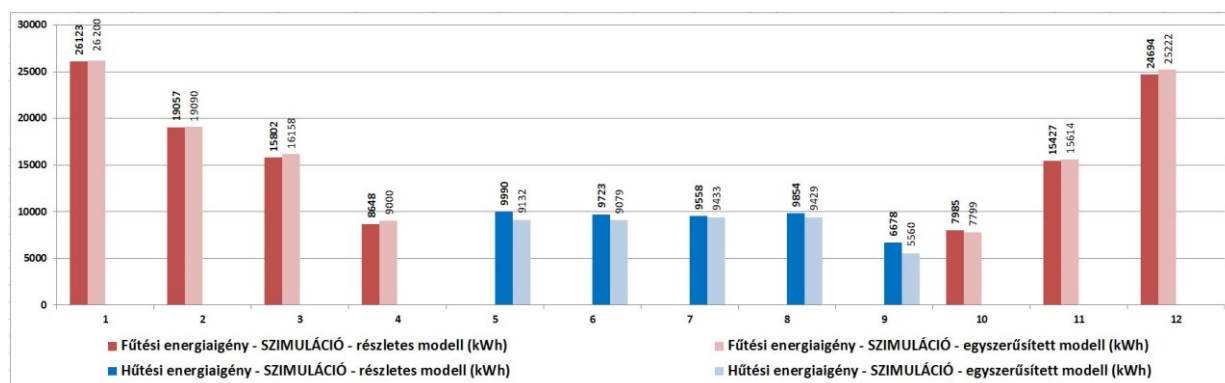


25. ábra: Modellezési technika – 3. modellvariáció – 1db 'épülettömb' + 12db 'zóna'

## 4.2.2 Térszerkezeti és gépészeti racionalizáló modellezési technika

A kiviteli terv egyre részletesebb szimulációs modelljének intenzíven növekvő szimulációs időigénye további modellezési egyszerűsítések tesztelését tette szükségesszerűvé.

Megállapítható, hogy azonos komfortigényű, azonos tájolású, azonos szerkezetekkel határolt és azonos gépészeti rendszerhez (hűtési/fűtési rendszer, légtechnika) tartozó helyiségek összevonhatók az egyesítés következtében módosuló tényezők (hőtároló tömeg, üvegezési arány, hűtési/fűtési, légtechnikai és megvilágítási teljesítmény, berendezések, személyek) arányos egyesítésével. A komlói Rati üzem- és iroda referencia épület irodahelyiségeinek, szociális helyiségeinek szimulációs zónamodellben való összevonásával az eredmények összehasonlítása alapján kijelenthető, hogy a szimulációk eredményeiben az eltérés 5% alatt tartható, mialatt a szimulációk lefutásának számítási időigénye 33 órától 13 órára, 60 %-kal csökkent. (26. ábra)



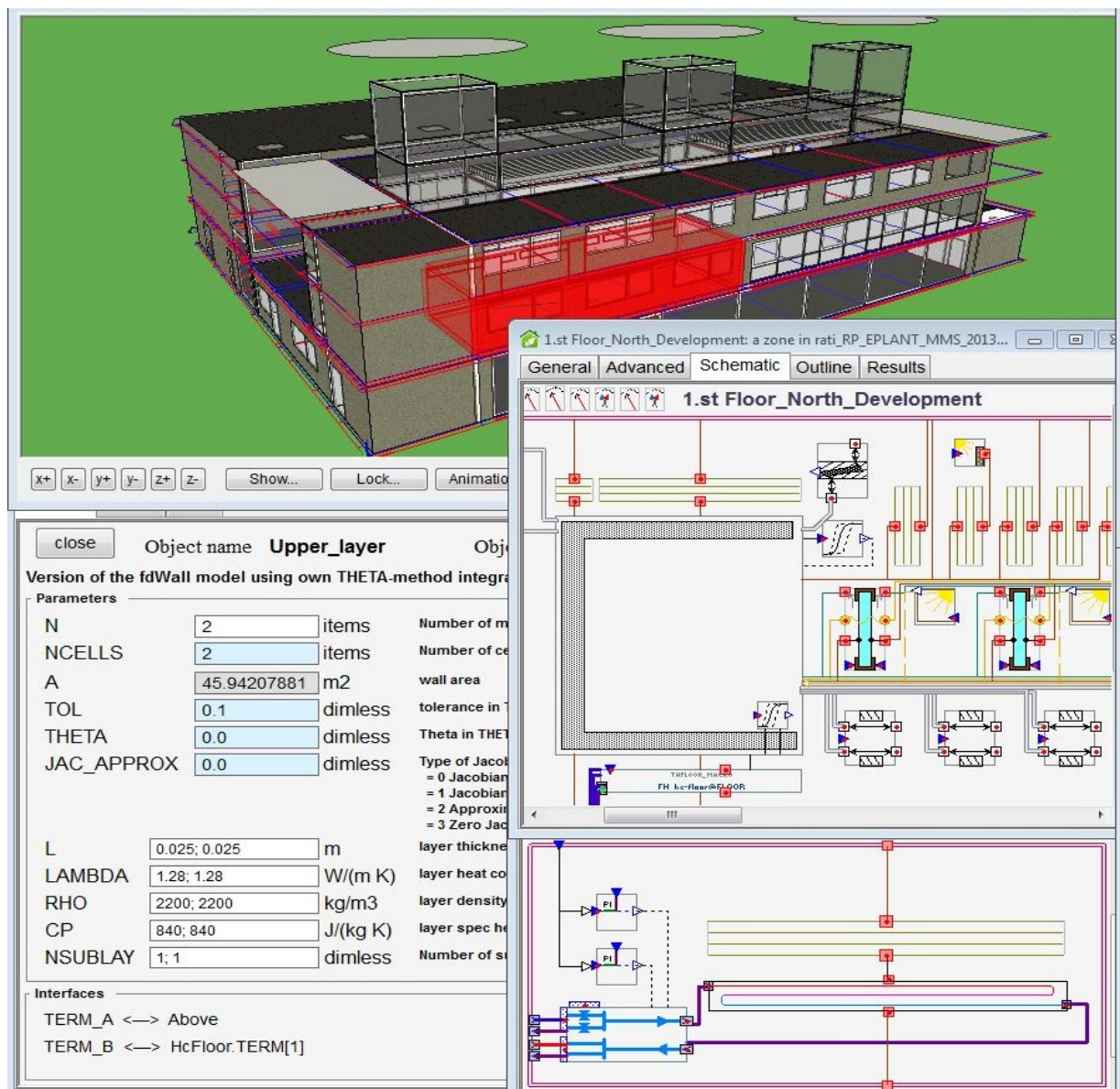
26. ábra: A kiviteli terv részletes, helyiségenkénti és egyszerűsített, összevont helyiségekkel és gépészettel modellezett szimulációs eredményeinek összehasonlítása

## 4.2.3 Matematikai modellezési technika

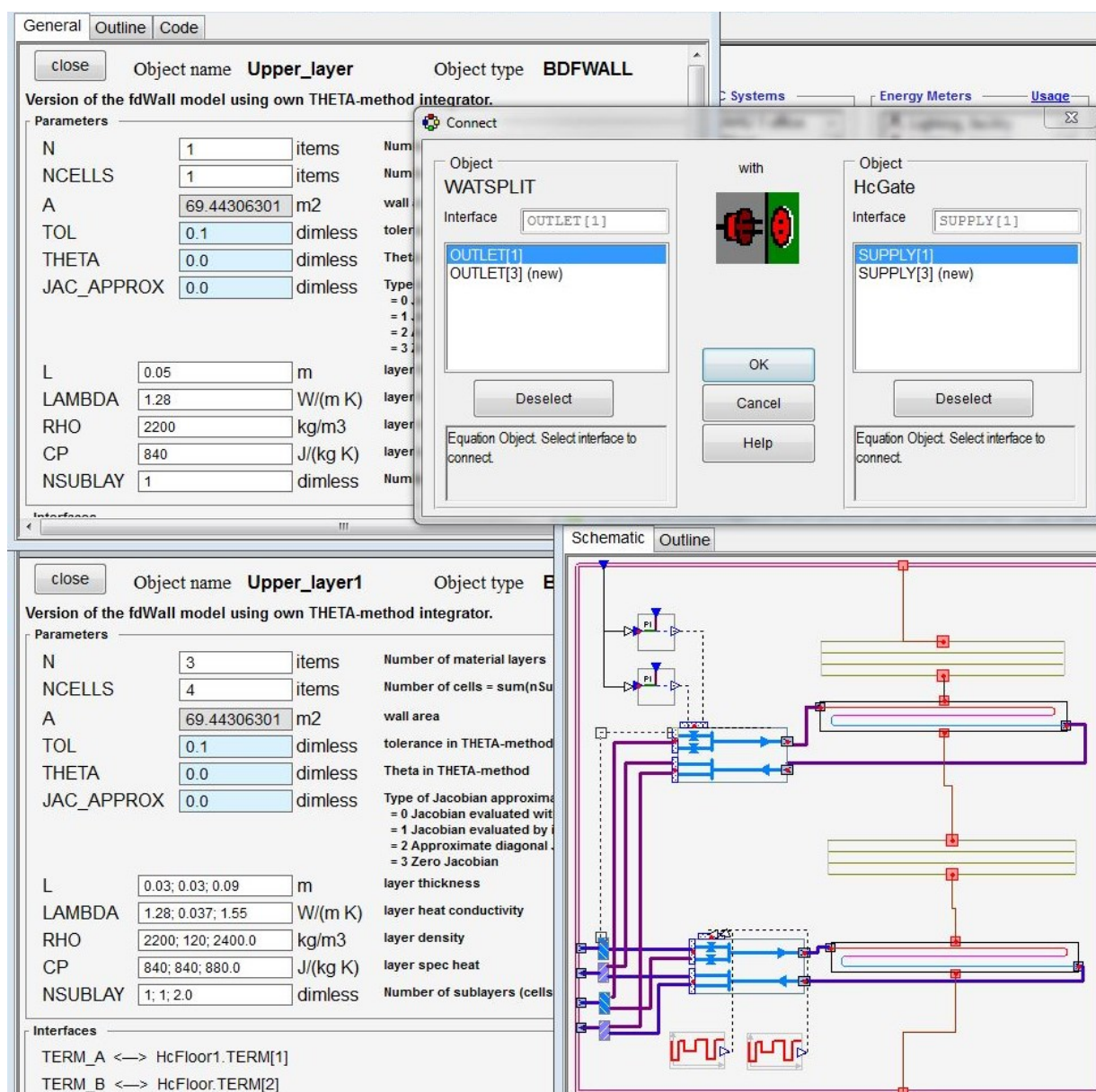
Komplex épületszerkezeti és épületgépészeti elemek kizárólag megfelelő matematikai modellben implementálhatók a szimulációkba. Jó példa erre a demonstrációs épület szerkezettemperáló rendszere, mely padlófűtés/hűtés mellett magának a tartószerkezet hőtároló tömegének aktiválásával biztosít alacsony hőmérsékletű, alacsony energiaigénnyel fenntartható felületi su-

gárhozó fűtést/hűtést az épületben. A valóságban ezt a bennmaradó zsalu-  
zatként is szolgáló, előregyártott vasbeton kéregpaneleken megszerelt  
temperáló csőhálózat biztosítja a födém nyomott övének monolitikus kibe-  
tonozásával. Ennek a megoldásnak a modellbe illesztése az egyes zónák  
padlószerkezetének és gépészeti padlótemperáló rendszerének a matema-  
tikai modellben való szétválasztását igényli, melyeket aztán a meglévő  
temperáló és vezérlési struktúrába is be kell kötni.

Az alábbiakban ábrázolt megoldással komplex épületszerkezeti és gépészeti  
rendszerek virtuális modellezése válik lehetővé, mely jelentősen növeli a  
szimulációk mérésekhez viszonyított pontosságát. (27-28. ábra)



27. ábra: A megvalósulási terv egy zónájának (jobb közép) és egyrétegű padlótemperálá-  
sának matematikai modellje (jobb lent), valamint a padló szerkezete (bal lent)



28. ábra: A megvalósulási terv egy zónájának padlószerkezetébe beillesztett kétrétegű temperálási rendszer matematikai modellje a padló- fűtés/hűtés és mennyezettemperálás szerkezeti (bal lent, fent) és gépészeti elemeinek kikísérletezett modellezésével (jobb lent)

### Kapcsolódó publikáció:

- Bálint Baranyai, István Kistelegdi Jr.: 'Validation of dynamic, energetic and climatic simulations of public buildings with real measurements phase I.' In: Peter Ivanyi (szerk.) Architectural, Engineering and Information Sciences – 9<sup>th</sup> International PhD & DLA Symposium: Abstract Book. Konferencia helye, ideje: Pécs, Magyarország, 2013.10.21-2013.10.22. Pécs: University of Pécs Pollack Mihály Faculty of Engineering, 2013. p.26. (ISBN:978-963-7298-54-7) Befoglaló mű link: OSZK

- Bálint Baranyai, István Kistelegdi, Bálint Bachmann :  
*'Potential analysis of dynamic, thermal building simulations and development of measurement aided simulation technique'* - Accepted  
2nd International Academic Conference „Places and Technologies  
2015” Konferencia helye, ideje: Nova Gorica, Szlovénia, 2015.06.18-19.

### **Előadás**

- Baranyai Bálint: *'Középületek dinamikus energetikai és klimatikai szimulációinak valós mérésekkel való igazolása – I. ütem'* – CONSTRUMA 2014.04.03.– „ÖkoCity” szekcióelőadás a HuGBC támogatásával  
<http://epiteszforum.hu/hogyan-tovabb-oko-city-egyetemi-nap-a-construman>

## **4.3 3. Tézis**

Egy dinamikus termikus épület-szimuláció pontossága az épület funkcionális, geometriai, szerkezeti és gépészeti komplexitásától függően, alapvetően nem csak a modell beállításaitól, hanem a valóságot a lehető legjobban interpretáló modellezési technikától függ, melyhez egyedül a valós mérések adnak megkérdőjelezhetetlen támpontot, egyben igazolási lehetőséget.

**Megállapítottam, hogy az általam lefolytatott, nagyfelbontású mérésadatgyűjtéssel kiegészített, dinamikus energetikai és klimatikai épület-szimulációk segítségével a valóság kb. 90 %-os pontosságú modellezése válik lehetővé a mérés - szimuláció - kalibráció eljárásainak egymásra ható alkalmazásával.**

Egy épület, különösen egy alacsony energiaigénnyel rendelkező épület használati módja, a használók tudatos, vagy véletlenszerű viselkedése alapvetően meghatározza annak energetikai- és komfortteljesítőképességét. Az energiaveszteség minimalizálását és a környezetből közvetett, vagy közvetlen módon nyerhető energia maximalizálását kizáró-

lag a beépített aktív épületszerkezeti és gépészeti elemek, rendszerek összehangolt, egységes rendszerként való működtetése biztosítja. Főként komplexebb iroda-, vagy középületek esetében a tervezett és tudatos használói magatartás mellett már elengedhetetlen ezen összrendszer - saját mérési adatira támaszkodó, az alapján működő – épületfelügyeleti önszabályozása. **Az épületet az épületfelügyeleti rendszeren keresztül a leghatékonyabban kalibrált épület-szimulációkkal lehetséges optimális módon üzemeltetni. A valóság-hű szimulációs módszer ezek után kiterjeszhető általánosságban is alacsonyenergiájú épületek tervezés-támogatására mind leendő, mind pedig meglévő épületek felújítása esetén.**

Ezen kalibrált pontosság eléréséhez részletes mérés és szimulációs technika alkalmazása szükséges. A referencia épület kb. 150 mérési pontból álló épületfelügyeleti rendszerét (BMS) további kb. 250 mérési adatponttal kibővítve (MMS), kb. 400 mérési adatpont segítségével térképezhető fel a kísérleti épület klimatikai és energetikai viselkedés-karakterisztikája. Ezen valós mérések eredményeivel egyeztetetve modellezhető a szimulációs programban a szerkezetek, gépészeti- és elektromos rendszerek, a felhasználók, és azok viselkedése, aktivitásuk mértéke, öltözetük, a használt berendezések és mindezek használati időprogramjai.

A szimulációs technika igazolásához a demonstrációs épület megvalósult állapotát tükröző szimulációs modelljébe a következő mérési eredményeket implementáltam:

- *A validációs szimuláció valós környezeti viszonyokat modellező futtatásához felhasznált, az épületen elhelyezett (MMS) időjárásállomás által szolgáltatott éves mérési adatok órás felbontásban (29. ábra):*

- külső hőmérséklet [ $^{\circ}\text{C}$ ]
- relatív páratartalom [%]
- szélereősség és -irány [ $\text{m/s}$ ], [ $^{\circ}$ ]

A diffúz és direkt napsugárzás adatai (megfelelő mérés hiányában) továbbra is a korábbi szimulációknál alkalmazott Meteonorm 7.0 időjárási adatbázis 10 éves átlagot tükröző értékeit tartalmazzák

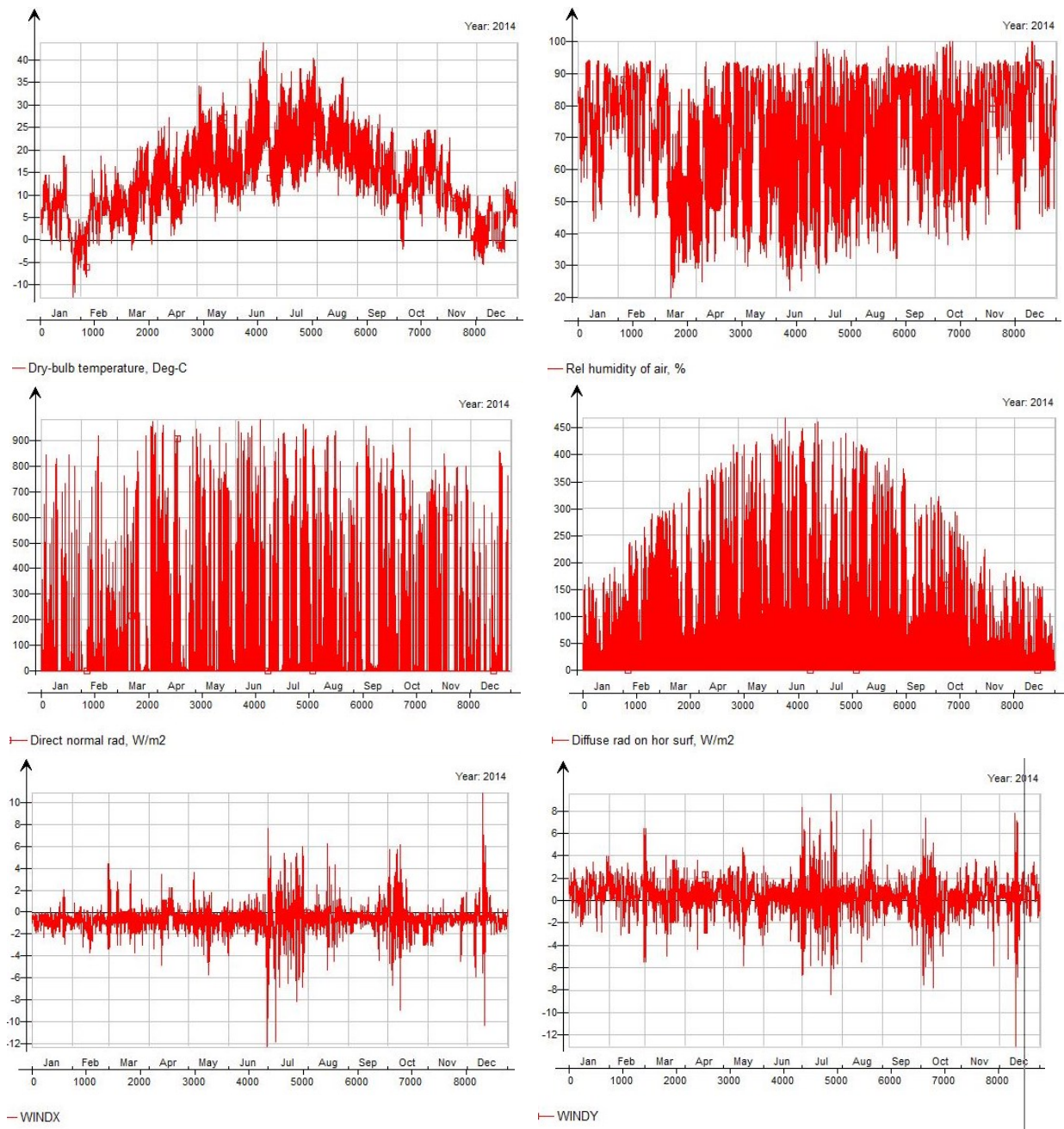
- *A validációs szimuláció beállításaihoz a használati viselkedést és az üzemeltetés módját lekövető felhasznált mérési eredmények napi felbontásban:*

- helyiségek valós fűtési/hűtési napi alapjele (30. ábra)  
a helyiség-termosztáton beállított kívánt hőmérséklet [ $^{\circ}\text{C}$ ]
- a hűtési/fűtési rendszer valós, időjárásfüggő hűtési/fűtési görbéje  
a BMS-ben beállított előremenő hűtési/fűtési hőmérséklet (31. ábra)
- a szellőztetéshez használt motorizált homlokzati nyílászárók valós időprogramja (nyitás/zárás ideje, mértéke [%])
- légkezelők valós időprogramja (31. ábra)  
ki/be, befúvás/elszívás, teljesítményfokozat [%]
- valós megvilágítás-erősség értékek - termelőcsarnok [lx]
- föld-levegő hőcserélő talajkollektor valós bejövő léghőmérséklete  
a légkezelők téli/nyári légellátásához [ $^{\circ}\text{C}$ ]
- az irodákba a légkezelők által juttatott légmennyiség  
légtérfogat-áram mérés [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]
- a légtechnikai rendszer elemeinek valós hővisszanyerési hatásfoka  
a mérési eredményekből számítható [%]

- *A validációs szimuláció igazolásához felhasznált mérési eredmények:*

- hőmennyiség-mérés - havi felbontás [GJ]  
BMS: fűtési/hűtési körönként, légkezelők fűtési/hűtési körei  
MMS: talajszondák primer hidraulikai köre, napkollektorok termelése)
- villamos fogyasztásmérés - órás felbontás [kWh]  
főfogyasztók: hőszivattyúk, légkezelők
- helyiség valós operatív hőmérséklet - órás felbontás [ $^{\circ}\text{C}$ ]  
referenciairodákban glóbusz hőmérővel mért hőmérséklet
- valós talajszonda hőmérséklet - órás felbontás [ $^{\circ}\text{C}$ ]

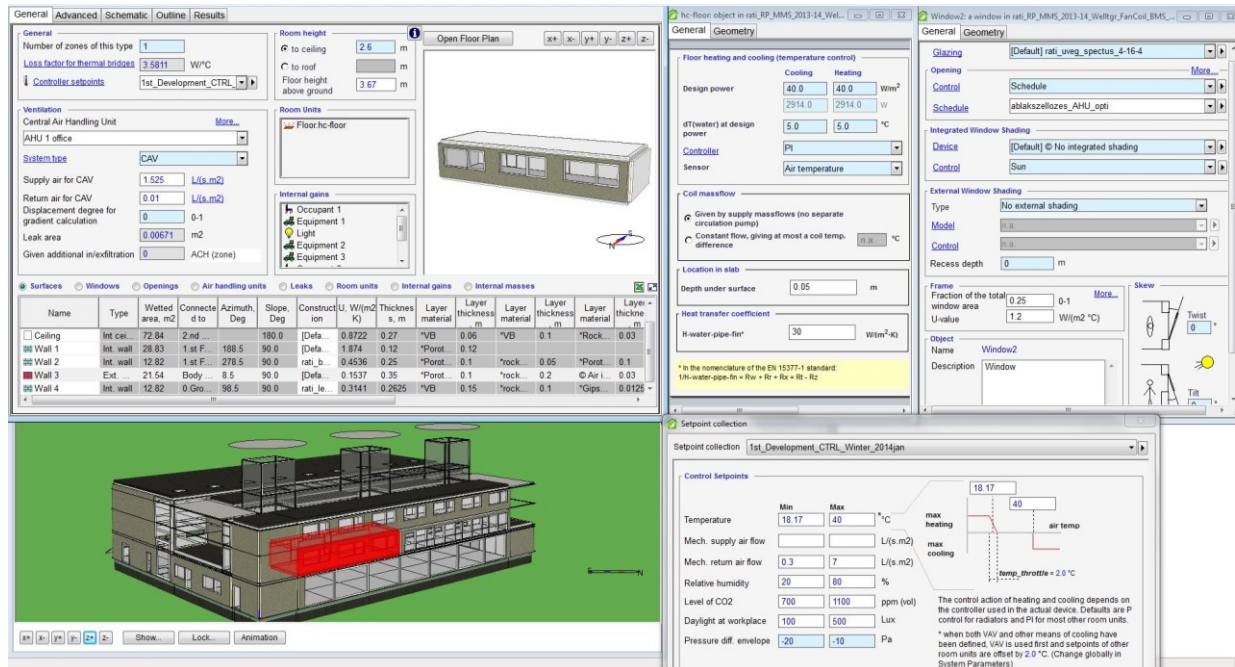




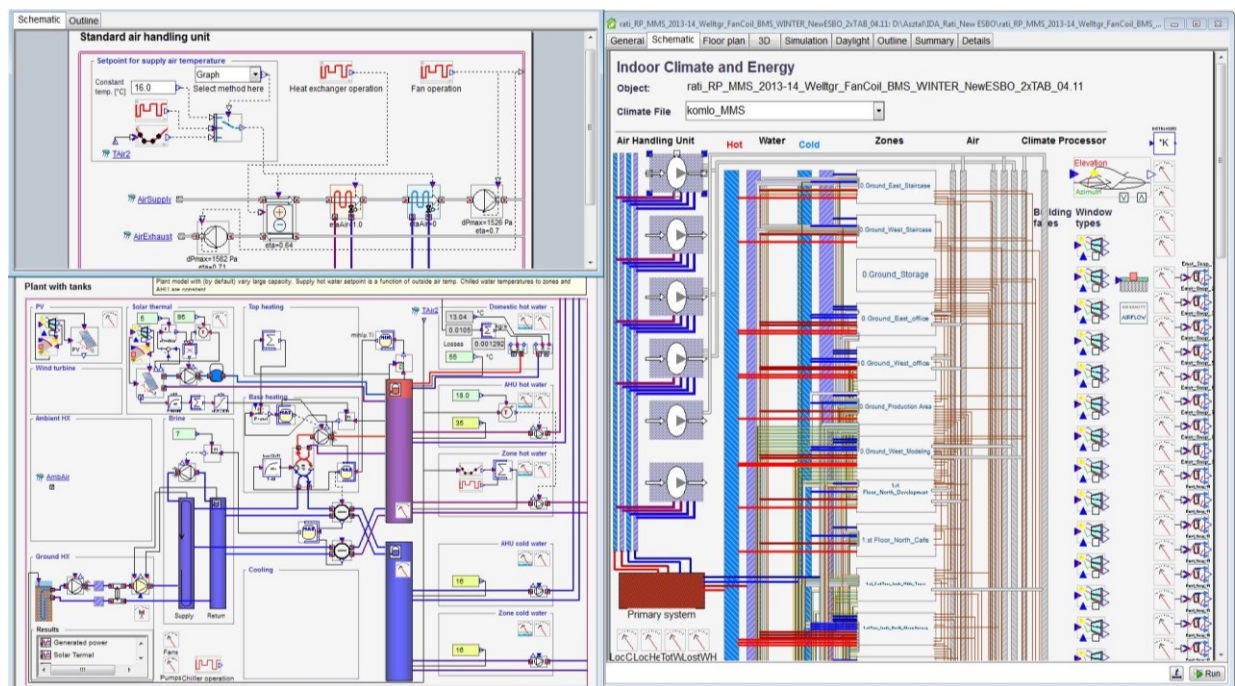
29. ábra: A megvalósulási terv validációs szimulációjához használt, az MMS valós, éves időjárás mérési eredményei órás felbontásban: külső hőmérséklet (bal fent), relatív páratartalom (középen fent), szél -erősség és -irány (bal és közép lent) – a diffúz és direkt napsugárzás (jobb fent és lent) adatai a Meteonorm 7.0 időjárás adatbázis 10 éves átlagot tükröző értékeit tartalmazzák

A szimulációs modell mérési adatokkal történt feltöltésével, a valós használathoz való igazításával, majd a kapott eredményeknek a valós mérési eredményekkel történő összevetésével a szimulációs technika megbízhatósága igazolást nyert mind energetikailag (32-33. ábra), mind pedig a kom-

fort területén. (34. ábra) A 90 %-os pontosságú validálást egy reprezentatív fűtési (január) és egy tipikus hűtési (augusztus) modell 1 hónapos szimulációjával értem el.

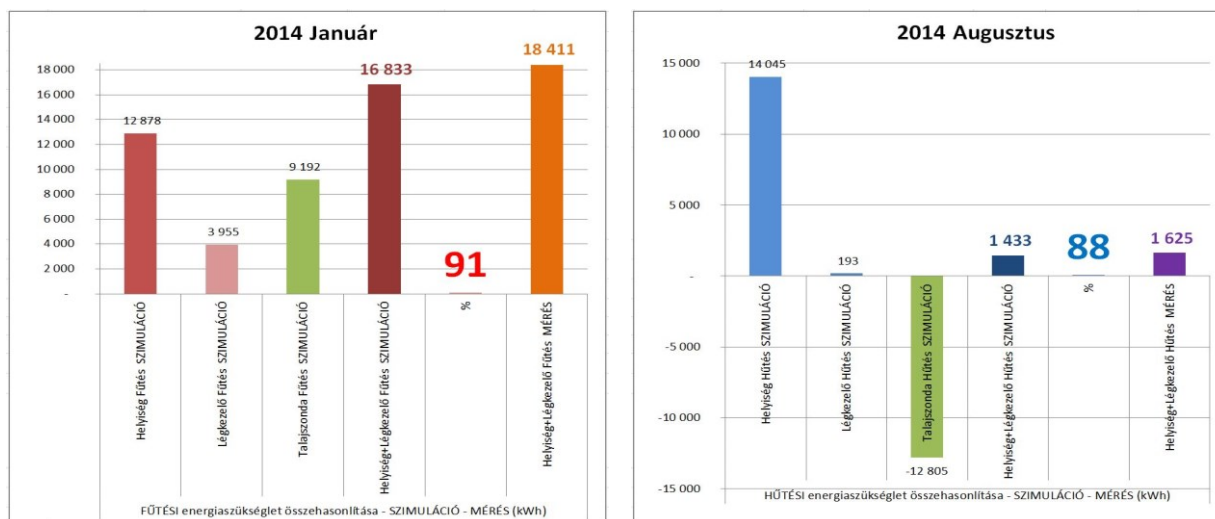


30. ábra: A megvalósulási terv validációs szimulációjának a valós mérési eredményeket felhasználó zónabeállítása

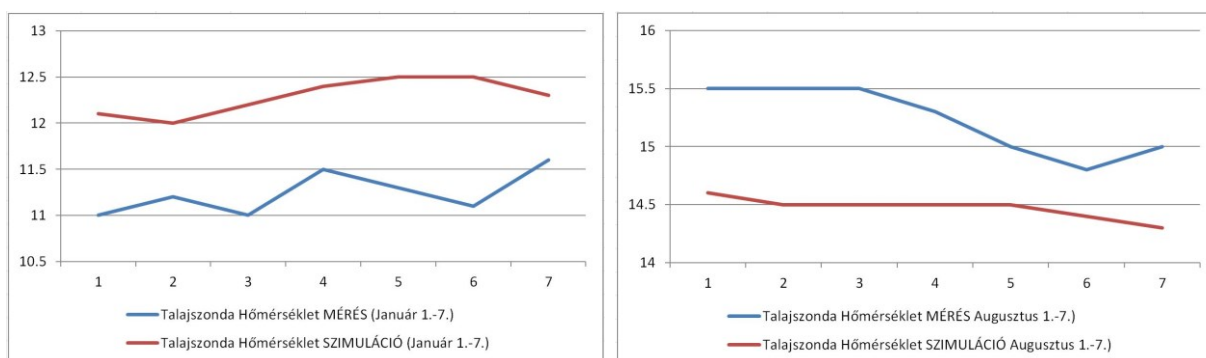


31. ábra: A megvalósulási terv validációs szimulációjának a valós mérési eredményeket felhasználó, gépészeti rendszert érintő matematikai modellje és főbb beállításai

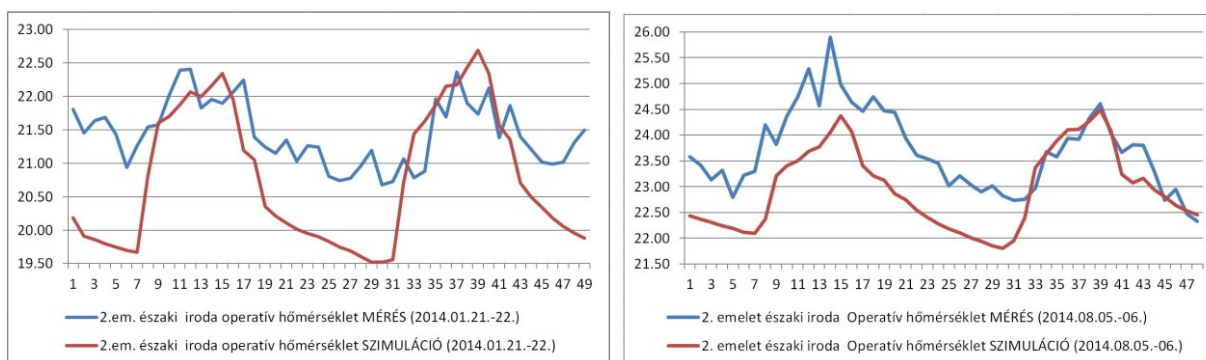
Az épület szerkezeti és gépészeti komplexitása, illetve az azt immáron nagy pontossággal (88 - 91%) lekövető szimulációs modellje megbízható alapot ad az általánosításra, mégpedig ezen szimulációs technika általános érvényű használatára.



32. ábra: A megvalósulási terv validációs szimulációjának és a valós mérési adatok fűtési (bal) és hűtési (jobb) energiafelhasználást mutató eredményeinek összehasonlítása



33. ábra: A megvalósulási terv validációs szimulációjának és a valós mérés fűtési (bal) és hűtési (jobb) időszakában a geotermikus szondák által szolgáltatott talaj-hőmérséklet eredményeinek összehasonlítása



34. ábra: A megvalósulási terv validációs szimulációjának és a valós mérés fűtési (bal) és hűtési (jobb) időszak operatív helyiség-hőmérséklet eredményeinek összehasonlítása

Kapcsolódó publikáció:

- Bálint Baranyai, István Kistelegdi Jr.: *'Validation of dynamic, energetic and climatic simulations of public buildings with real measurements phase I.'* In: Peter Ivanyi (szerk.) Architectural, Engineering and Information Sciences - 9th International PhD & DLA Symposium: Abstract Book. Konferencia helye, ideje: Pécs, Magyarország, 2013.10.21-2013.10.22. Pécs: University of Pécs Pollack Mihály Faculty of Engineering, 2013. p. 26. (ISBN:978-963-7298-54-7) Befoglaló mű link: OSZK
- Bálint Baranyai, István Kistelegdi, Bálint Bachmann : *'Potential analysis of dynamic, thermal building simulations and development of measurement aided simulation technique'* - Accepted 2nd International Academic Conference „Places and Technologies 2015” Konferencia helye, ideje: Nova Gorica, Szlovénia, 2015.06.18-19.

#### 4.4 4. Tézis

**A dinamikus energetikai és klimatikai épület-szimulációkkal meghatároztam egy *komfort-energia tényezőt* (K/E tényező), mellyel az épületbelső komfort-környezete és az üzemeltetési energiaköltségek egyidejű optimalizálása biztosítható. Az K/E tényező nemcsak az egységnyi energiával biztosítható komfortos órák számának összehasonlítására és elemzésére alkalmas, hanem a relációt megfordítva (energia-komfort E/K), az egységnyi komfortos időintervallumra vonatkoztatott energiaigény meghatározását, ill. összevetését is lehetővé teszi.**

Termikus épület-szimulációs vizsgálataim folyamán rendszeresen szembe-sültem az energiafogyasztás-csökkentés igénye és a megfelelő belső komfort biztosításához szükséges energiaigény között feszülő látszólagos ellentmondással. Egy iteratív épület-szimulációs kísérletsorozat segítségével

meghatároztam a komfort-klíma környezet azon fizikai paraméter-értékeit, melyekkel a lehető legalacsonyabb energiafogyasztás mellett még megfelelő termikus komfortérzet biztosítható az épületet használók számára. Ehhez szükséges egy új fogalom bevezetése, az Komfort-Energia (K/E) tényező definiálása, mely érték a klíma-komfort környezet szintjének és az ennek megteremtéséhez szükséges energiaigénynek a hányadosát jelenti. A kutatásban azt a Komfort-Energia tényező rendszert kerestem, mely elfogadható termikus komfortérzet biztosításához a lehető legalacsonyabb energiafelhasználást vonzza magával.

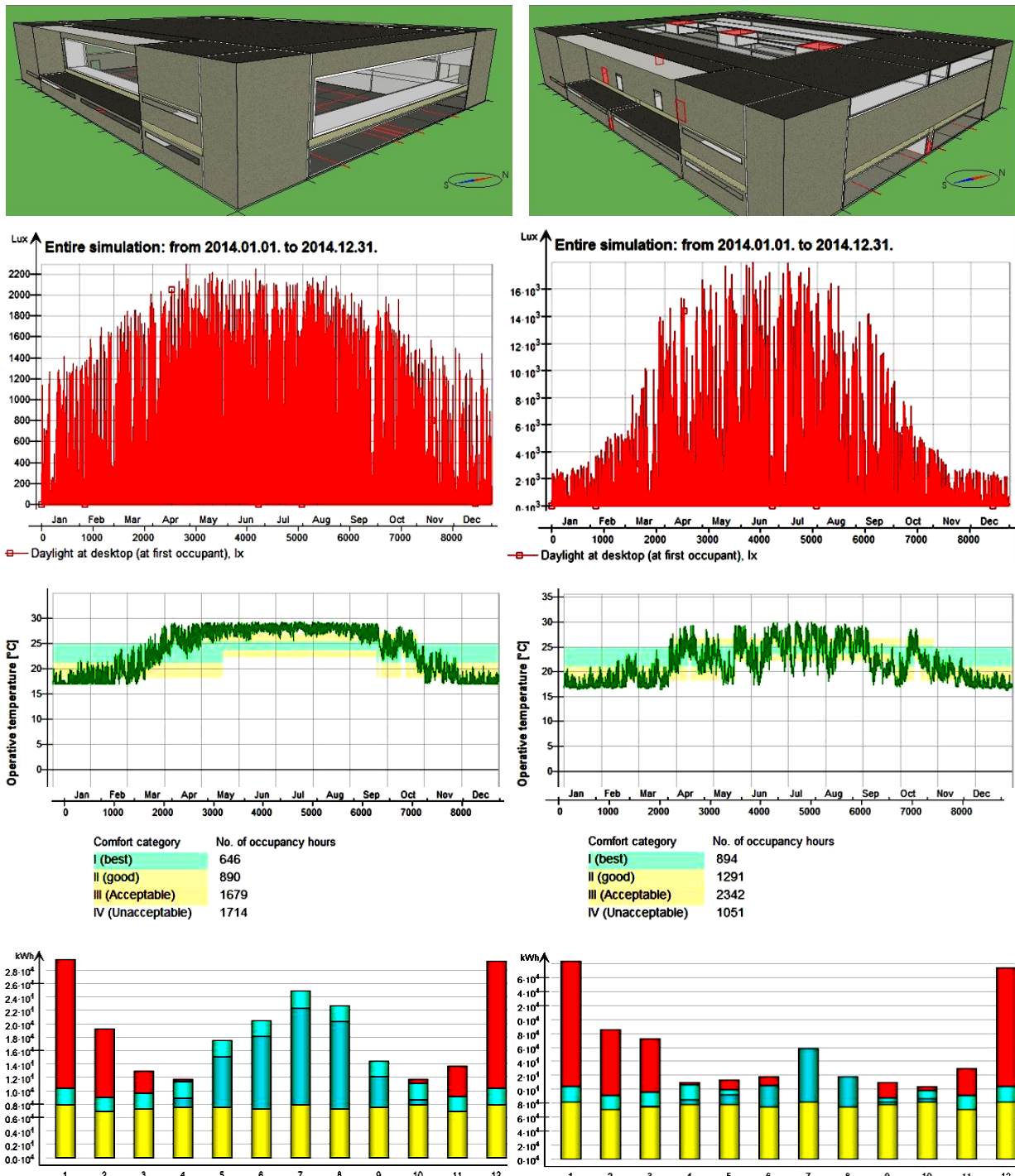
#### **4.1 Egy gyakorlati esettanulmány komfort-energia tényezői**

Az alábbiakban egy konkrét esettanulmány elemzésével mutatom be az optimális komfort-energia tényező meghatározásának gyakorlati oldalát. A Nemzeti Kosárlabda Akadémia (NKA) pécsi sportcsarnok projekt keretében a generáltervező olyan szimulációs tervezés- és döntéstámogató tanulmányt igényelt, mely segítségével a speciális építészeti koncepcióként meghatározott transzparens tetőzet következtében kialakuló vizuális (természetes megvilágítási) és termikus (hő) komfortszínvonal mértékét és a hozzárendelt üzemeltetési energiaigényeket egyes tervvariációk viszonylatában elemezni lehetséges.

A szimuláció-sorozat eredményeinek a tervezési folyamatba való folyamatos visszacsatolásával irányítható, illetve *kiválasztható volt azon optimális tömegforma, üvegezési módozat és arány, épületszerkezeti és épületgépészeti kialakítás*, mely a lehető legkisebb energiafelhasználás mellett az elérhető leghosszabb komfortos időintervallummal rendelkezett. A kísérlet alapvető elemeként a *természetes és mesterséges szellőztetési koncepciók kombinálásával, optimalizálásával* a passzív gravitációs szellőzési időszak is maximálisan kiterjesztésre került, mely egy csarnoképületnél meghatározó jelentőségű az energiafelhasználás tekintetében.

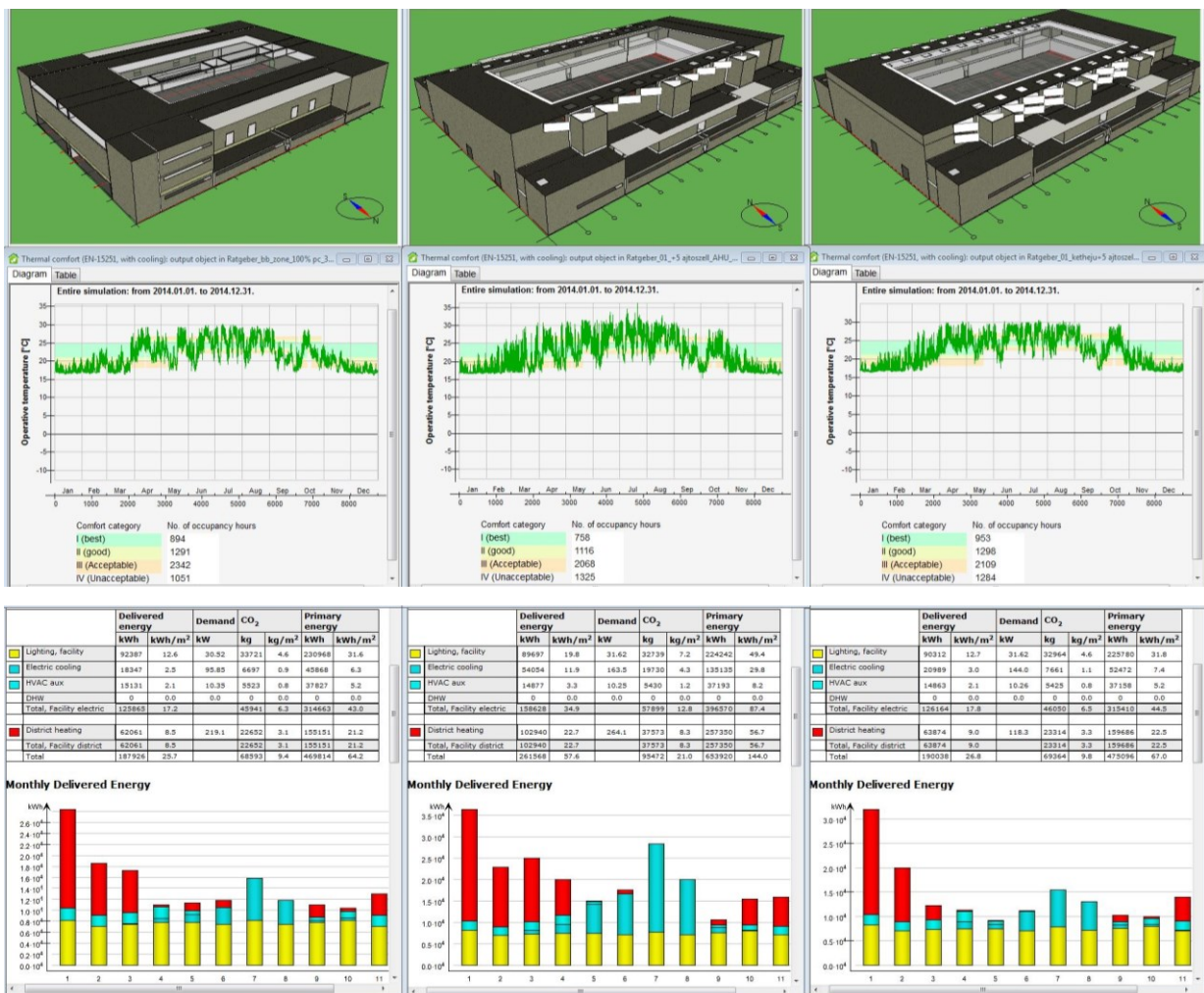
Az elemzést az építészeti koncepció alátámasztását szolgáló szimulációkkal kezdtem, mely először a szabványban előírt belső megvilágítási értéket biz-

tosító minimális tetőfelülvilágító méret meghatározására irányult. Következő lépésként a felülvilágító koncepciómodell életképességét egy azonos transzparens bevilágító felületet tartalmazó, hagyományos oldalablakos modellhez viszonyítva vizsgáltam fény és hőkomfort, valamint energetikai teljesítmény vonatkozásában. (35. ábra)



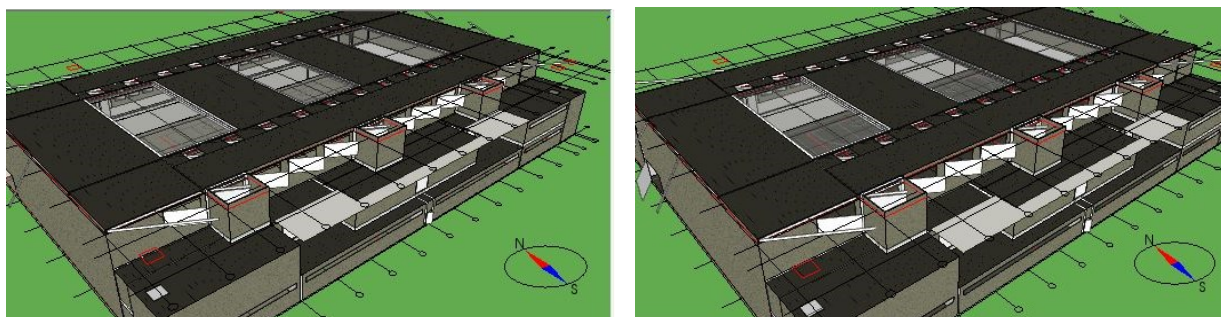
35. ábra: Pécs, Nemzeti Kosárlabda Akadémia sportcsarnokának felülvilágító és hagyományos oldalablakos modell összehasonlítása megvilágítás (fent – lux), hőkomfort (középen – óra), energetikai teljesítmény (lent – kWh)

A megbízói igények időbeli változása az épületkomplexum áttervezésével járt és az előtérbe kerülő gazdasági kérdések magukkal vonták az új tervváltozat egy- ill. kéthéjű tetővel való energetikai- és komfort szempontok alapján történő összehasonlításának igényét is. Az alábbi, 36. ábrán az első kéthéjű tetős tervváltozathoz viszonyítva került összevetésre az új tervvariáns egy- ill. kéthéjű tetőszerkezetes megoldása. Megállapítható volt, hogy míg a kéthéjű tervváltozatok fűtési és hűtési energiaigénye nem változott számottevően, az új egyhéjű modell fűtési energiaigénye 66%-al, a hűtési fogyasztása pedig 194%-al növekedett a duplahéjű felülvilágítás referenciáéhoz képest, míg a légtechnika ventilációs igénye gyakorlatilag nem változott. Mivel a mesterséges megvilágítás nem változott, ezért összesítve 39%-os energiafogyasztás növekedés történt közel azonos komfort biztosítása mellett.



36. ábra: Pécs, Nemzeti Kosárlabda Akadémia sportcsarnokának 1.kéthéjű (bal) és 2. egy- (közép) és kéthéjű (jobb) tetős változatának hőkomfort és energiaigény összehasonlítása

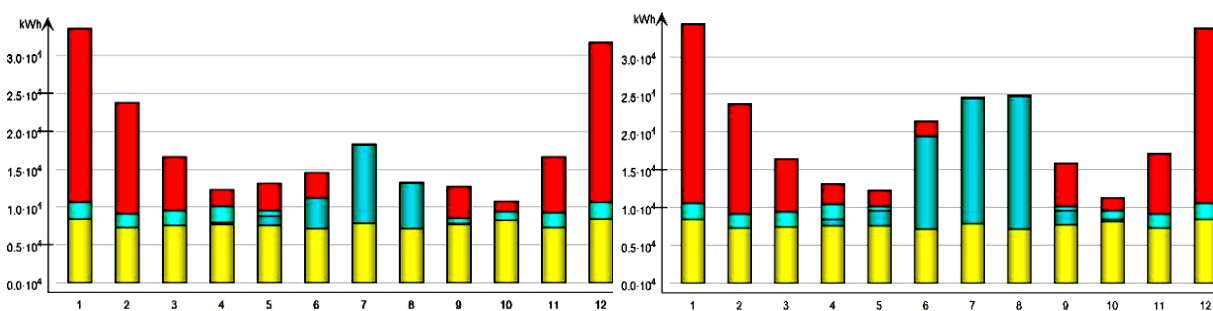
A tervezési folyamat egy pontján a megbízó egy nemzetközi szabványra hivatkozva leszűkítette az addig - a gépész tervezővel közösen meghatározott - 17-28 °C-os komforttartományt 18-25 °C-ra. Ennek a döntésnek az energetikai hatását szemlélteti a 37. ábra. Számszerűsítve ez annyit jelentett, hogy ugyan a hőkomfort természetesen javult a csarnoktérben, de a 3 °C csökkentés nyáron 2,5-szörös hűtési energiát igényelt, emellett a téli, 1 °C emelés csak 4%-os fűtési energiátöbblettel fedezhető volt.



	Delivered energy		Demand	CO <sub>2</sub>		Primary energy	
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>		kW	kg	kg/m <sup>2</sup>	kWh
Lighting, facility	91746	13.0	31.62	33487	4.7	229365	32.5
Electric cooling	22191	3.1	159.2	8100	1.1	55478	7.9
HVAC aux	14870	2.1	10.18	5427	0.8	37174	5.3
DHW	0	0.0	0.0	0	0.0	0	0.0
<b>Total, Facility electric</b>	<b>128807</b>	<b>18.2</b>		<b>47014</b>	<b>6.7</b>	<b>322017</b>	<b>45.6</b>
District heating	88275	12.5	236.4	32220	4.6	220688	31.2
<b>Total, Facility district</b>	<b>88275</b>	<b>12.5</b>		<b>32220</b>	<b>4.6</b>	<b>220688</b>	<b>31.2</b>
<b>Total</b>	<b>217082</b>	<b>30.7</b>		<b>79234</b>	<b>11.2</b>	<b>542705</b>	<b>76.8</b>

	Delivered energy		Demand	CO <sub>2</sub>		Primary energy	
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>		kW	kg	kg/m <sup>2</sup>	kWh
Lighting, facility	91626	13.0	31.62	33443	4.7	229065	32.4
Electric cooling	51983	7.4	157.7	18974	2.7	129956	18.4
HVAC aux	14867	2.1	10.18	5426	0.8	37167	5.3
DHW	0	0.0	0.0	0	0.0	0	0.0
<b>Total, Facility electric</b>	<b>158476</b>	<b>22.4</b>		<b>57843</b>	<b>8.2</b>	<b>396188</b>	<b>56.1</b>
District heating	90738	12.8	230.2	33119	4.7	226844	32.1
<b>Total, Facility district</b>	<b>90738</b>	<b>12.8</b>		<b>33119</b>	<b>4.7</b>	<b>226844</b>	<b>32.1</b>
<b>Total</b>	<b>249214</b>	<b>35.3</b>		<b>90962</b>	<b>12.9</b>	<b>623032</b>	<b>88.2</b>



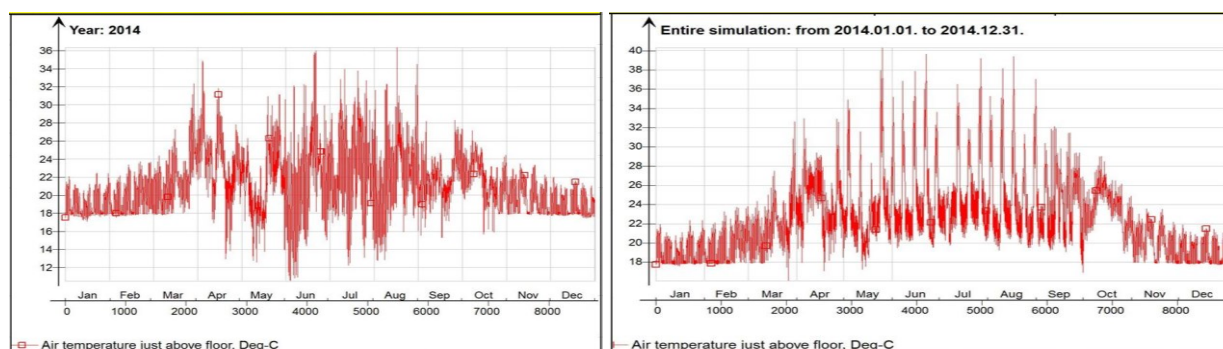
37. ábra: Pécs, Nemzeti Kosárlabda Akadémia sportcsarnokának kéthéjú tetős változatainak energetikai összehasonlítása - 17-28 °C (bal) és 18-25 °C (jobb) komforttartományal

Végül, gazdasági megfontolásból a megbízó az egyhéjú tető mellett döntött, ehhez kellett szimulációkkal hozzáigazítani az elérhető komfortszintet és energetikai teljesítményt. Kidolgozásra került egy pusztán légtechnikát alkalmazó „mesterséges” modell és egy kombinált megoldás, mely a mesterséges szellőzés időtartamának minimalizálása mellett a természetes szellőzéses időszakok ésszerű kiterjesztésével biztosította a megfelelő belső



légállapotot. A két modell energetikai összevetéséhez először a modellek hőkomfortját kellett egy szintre hozni.

A kombinált modell nyáron a „mesterséges” modell hűtési energiájának mindössze 25 %-át igényelte. Bár a téli időszakban a pusztán gépi szellőzésű modell 25%-kal kevesebb fűtési energiát igényelt, az azonos mértékű mesterséges világítási igényt nem számítva a természetesen is szellőztetett modell éves energetikai előnye így is 31%. A világítási energiaigényt is figyelembe véve, összesítve 19 % a kombinált modell energetikai előnye. (38-40. ábra) Figyelembe véve a természetes szellőzés minden elemének (légbevezetés: talaj-levegő hőcserélő antibakteriális, ezüstbevonatú vezetékhalózat, kiszellőzés: 3 db aerodinamikailag méretezett egyedi szellőzőtorony és motoros zsaluk) tervezett bekerülési költségét és a villamos áram aktuális árát, kb. 17 éves üzemeltetési költségben való megtérülést prognosztizáltam, ami egy ilyen léptékű beruházásnál mindenképpen mérlegelendő szempont kellene, hogy legyen.

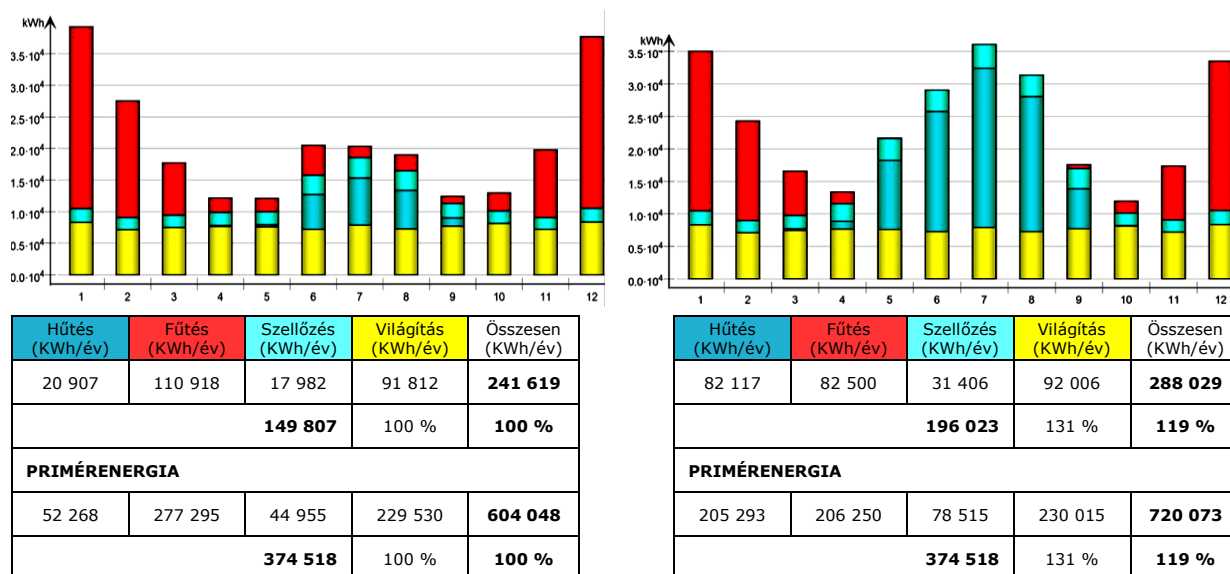


38. ábra: Pécs, Nemzeti Kosárlabda Akadémia sportcsarnokának kombinált, természetes és mesterséges (bal), valamint kizárólag gépi szellőzésű modelljének (jobb) belső léghőmérsékletének összehasonlítása

30 °C-ot elérő, vagy azt meghaladó napok száma	<b>9 nap</b>
28 °C-ot elérő, vagy azt meghaladó napok száma	<b>35 nap</b>
25 °C-ot meghaladó napok száma	<b>74 nap</b>
18 °C alatti napok száma	<b>22 nap</b>
18 °C alatti, vagy 25 °C-ot meghaladó napok száma	<b>96 nap</b>
Diszkomfortos órák száma	<b>879 óra</b>

30 °C-ot elérő, vagy azt meghaladó napok száma	<b>10 nap</b>
28 °C-ot elérő, vagy azt meghaladó napok száma	<b>26 nap</b>
25 °C-ot meghaladó napok száma	<b>79 nap</b>
18 °C alatti napok száma	<b>6 nap</b>
18 °C alatti, vagy 25 °C-ot meghaladó napok száma	<b>85 nap</b>
Diszkomfortos órák száma	<b>564 óra</b>

39. ábra: Pécs, Nemzeti Kosárlabda Akadémia sportcsarnokának kombinált, természetes és mesterséges (bal), valamint kizárólag gépi szellőzésű modelljének (jobb) hőkomfort teljesítményének összehasonlítása



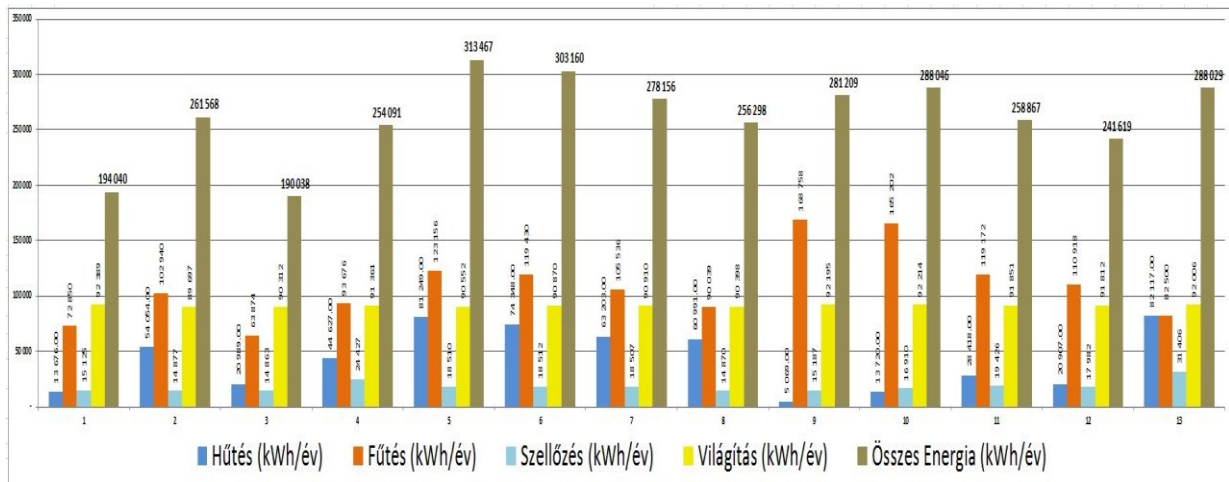
40. ábra: Pécs, Nemzeti Kosárlabda Akadémia sportcsarnokának kombinált, természetes és mesterséges (bal), valamint kizárólag gépi szellőzésű modelljének (jobb) energetikai teljesítményének összehasonlítása

A 41. ábra demonstrálja 3 karakterisztikusan eltérő tervvariáns K/E és E/K hányadosát, ahol a nagyobb K/E érték a magasabb komfort szintet szám- szerűsíti, alacsonyabb energiafelhasználás mellett, illetve a magasabb E/K érték az egységnyi energiafelhasználással megtermelhető magasabb komfortos órák számát reprezentálja. Megállapítható, hogy transzparens tetőzet esetén egyértelműen a kéthéjú tetőszerkezet biztosítja a legalacsonyabb energiafelhasználást hasonló belső komfort biztosítása mellett, azonban a természetes és mesterséges szellőzés időprogramjának egymáshoz való szimulációs optimalizálásával ez a szint egyhéjú tetővel is megközelíthető.

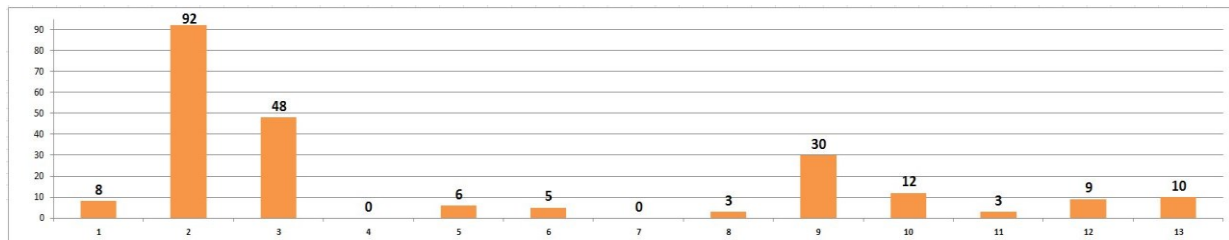
MODELL SZÁMA	ENERGIAFELHASZNÁLÁS (kWh/év)				KOMFORTOS ÓRÁK SZÁMA (óra)				KOMFORT/ ENERGIA HÁNYADOS	ENERGIA / KOMFORT HÁNYADOS
	Hűtés (kWh/év)	Fűtés (kWh/év)	Szellőzés (kWh/év)	Összesen (kWh/év)	A	B	C	A + B + C		
20	20 989	63 874	14 863	<b>99 726.00</b>	953	1 298	2 109	<b>4 360</b>	<b>0.044</b>	<b>22.873</b>
30	81 249	123 156	18 510	<b>222 915.00</b>	1 137	1 709	2 847	<b>5 693</b>	<b>0.026</b>	<b>39.156</b>
50	20 907	110 918	17 982	<b>149 807.00</b>	1 298	1 889	2 514	<b>5 701</b>	<b>0.038</b>	<b>26.277</b>

41. ábra: Pécs, Nemzeti Kosárlabda Akadémia sportcsarnokának 3 vázlattevi modellvariációja – egyhéjú (fent,lent) és kéthéjú tetővel (közép)–energiaigény és hőkomfort elemzése

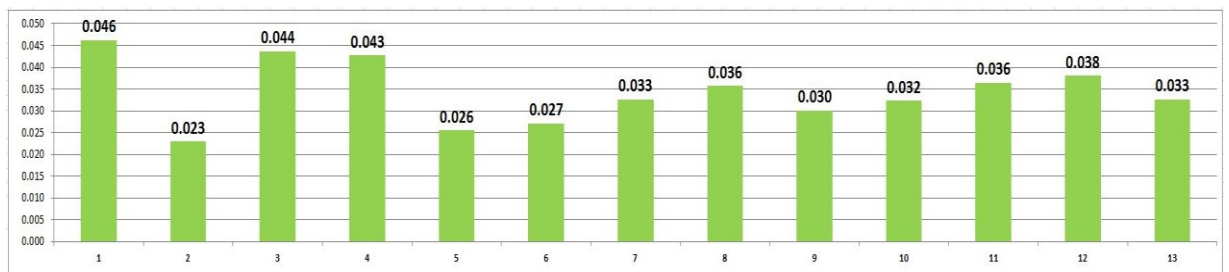
A 42-46. ábra az 54 modellből álló szimuláció sorozat főbb állomásait reprezentáló 13 szimuláció energetikai és komforteredményeit, valamint az építészeti koncepció változását grafikonok és folyamatábra mutatja az egyes variánsokhoz tartozó Komfort-Energia értékkel.



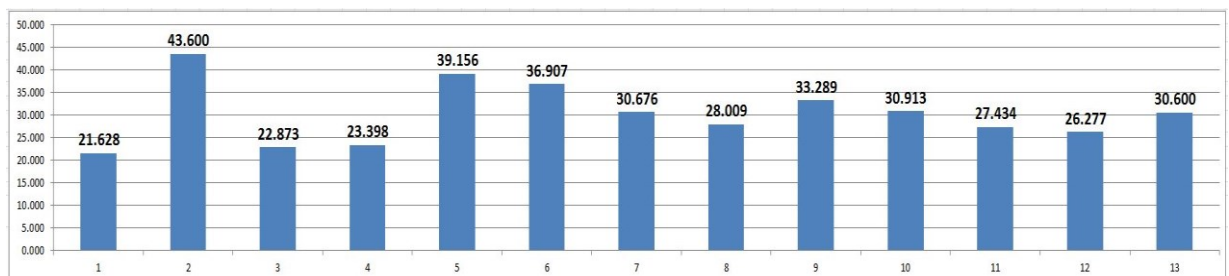
42.ábra: Pécs, Nemzeti Kosárlabda Akadémia sportcsarnokának vázlattevi modellvariációi - az energetikai teljesítmény összehasonlítása



43. ábra: Pécs, Nemzeti Kosárlabda Akadémia sportcsarnokának vázlattevi modellvariációi - a hőkomfort (30 °C-t elérő napok száma)



44.ábra: Pécs, Nemzeti Kosárlabda Akadémia sportcsarnokának vázlattevi modellvariációi - a K/F és az F/K tényező összehasonlítása



45.ábra: Pécs, Nemzeti Kosárlabda Akadémia sportcsarnokának vázlattevi modellvariációi - az F/K tényező összehasonlítása

## NKA RÁTGÉBER AKADEMIA - KLIMATIKAI, ENERGETIKAI DINAMIKUS ÉPÜLET SZIMULÁCIÓ

### 1. MODELL 4 DB SAROKBÁSTYA POLIKARBONÁT 1.100 M<sup>2</sup>

<b>REFERENCIA</b>
<b>MODELL (No.1B)</b>
OLDALSÓ MEGVILÁGÍTÁS (1.100 M <sup>2</sup> )
SZABÁLYOZÁS 17-28 °C
FŰTÉS + LÉGTECHNIKA 16°C
HŰTÉS + LÉGTECHNIKA 16°C
KOMFORT (K): 3.652 h
ENERGIA (E): 138.131 kWh
K/E: 0,026

<b>MODELL (No. 10.)</b>
2-HEJŰ POLIK. 200 CM/1.100 M <sup>2</sup>
2-HEJŰ TETŐ
SZABÁLYOZÁS 17-28 °C
FŰTÉS + LÉGTECHNIKA 16°C
HŰTÉS + PASSZIV SZELLŐZÉS
KOMFORT (K): 4.527 h
ENERGIA (E): 95.539 kWh
K/E: 0,047

<b>MODELL (No.14.)</b>
2-HEJŰ POLIK. 200 CM/1.100 M <sup>2</sup>
2-HEJŰ TETŐ
SZABÁLYOZÁS 17-28 °C
FŰTÉS + PASSZIV SZELLŐZÉS
HŰTÉS + PASSZIV SZELLŐZÉS
KOMFORT (K): 4.031 h
ENERGIA (E): 75.645 kWh
K/E: 0,053

<b>MODELL (No.15.)</b>
2-HEJŰ POLIK. 200 CM/1.100 M <sup>2</sup>
2-HEJŰ TETŐ
SZABÁLYOZÁS 17-28 °C
FŰTÉS + PASSZIV SZELLŐZÉS + PASSZIV SZELLŐZÉS
KOMFORT (K): 3.979 h
ENERGIA (E): 62.369 kWh
K/E: 0,064

### 2. MODELL FÉLNYEREGTETŐ POLIKARBONÁT 1.000-1.300 M<sup>2</sup> 1-HEJŰ / 2-HEJŰ

<b>REFERENCIA</b>
<b>MODELL (No.33.1)</b>
OLDALSÓ MEGVILÁGÍTÁS (1.100 M <sup>2</sup> )
SZABÁLYOZÁS 17-28 °C
FŰTÉS + LÉGTECHNIKA 16°C
HŰTÉS + LÉGTECHNIKA 16°C
KOMFORT (K): 3.759 h
ENERGIA (E): 144.750 kWh
K/E: 0,026

<b>MODELL (No.19.)</b>
1-HEJŰ POLIKARBONÁT/1.300 M <sup>2</sup>
1-HEJŰ TETŐ
SZABÁLYOZÁS 17-28 °C
FŰTÉS + LÉGTECHNIKA 16°C
HŰTÉS + PASSZIV SZELLŐZÉS
KOMFORT (K): 3.942 h
ENERGIA (E): 171.871 kWh
K/E: 0,023

<b>MODELL (No.22.)</b>
1-HEJŰ POLIKARBONÁT/1.300 M <sup>2</sup>
1-HEJŰ TETŐ + 20 DB RWA
SZABÁLYOZÁS 17-28 °C
FŰTÉS + LÉGTECHNIKA 16°C
HŰTÉS + PASSZIV SZELLŐZÉS
KOMFORT (K): 4.068 h
ENERGIA (E): 145.745 kWh
K/E: 0,026

<b>MODELL (No.23.)</b>
1-HEJŰ POLIKARBONÁT/1.000 M <sup>2</sup>
1-HEJŰ TETŐ + 20 DB RWA
SZABÁLYOZÁS 17-28 °C
FŰTÉS + LÉGTECHNIKA 16°C
HŰTÉS + PASSZIV SZELLŐZÉS
KOMFORT (K): 4.048 h
ENERGIA (E): 138.488 kWh
K/E: 0,029

<b>MODELL (No.20.)</b>
2-HEJŰ POLIK. 170 CM/1.300 M <sup>2</sup>
2-HEJŰ TETŐ
SZABÁLYOZÁS 17-28 °C
FŰTÉS + LÉGTECHNIKA 16°C
HŰTÉS + PASSZIV SZELLŐZÉS
KOMFORT (K): 4.360 h
ENERGIA (E): 99.726 kWh
K/E: 0,044

<b>MODELL (No.21.)</b>
2-HEJŰ POLIK. 40 CM/1.300 M <sup>2</sup>
2-HEJŰ TETŐ + 20 DB RWA
SZABÁLYOZÁS 17-28 °C
FŰTÉS + LÉGTECHNIKA 16°C
HŰTÉS + PASSZIV SZELLŐZÉS
KOMFORT (K): 4.220 h
ENERGIA (E): 105.636 kWh
K/E: 0,040

<b>MODELL (No.24.)</b>
1-HEJŰ POLIKARBONÁT/1.000 M <sup>2</sup>
1-HEJŰ TETŐ + 20 DB RWA
SZABÁLYOZÁS 17-28 °C
FŰTÉS + LÉGTECHNIKA TÉL 20°C
HŰTÉS + PASSZIV SZELLŐZÉS
KOMFORT (K): 3.936 h
ENERGIA (E): 141.419 kWh
K/E: 0,026

<b>MODELL (No.25.)</b>
2-HEJŰ POLIK. 40 CM/1.000 M <sup>2</sup>
2-HEJŰ TETŐ + 20 DB RWA
SZABÁLYOZÁS 17-28 °C
FŰTÉS + LÉGTECHNIKA 20°C
HŰTÉS + PASSZIV SZELLŐZÉS
KOMFORT (K): 4.997 h
ENERGIA (E): 126.093 kWh
K/E: 0,040

<b>MODELL (No.26.)</b>
1-HEJŰ POLIKARBONÁT/1.000 M <sup>2</sup>
1-HEJŰ TETŐ + 20 DB RWA
SZABÁLYOZÁS 17-28 °C
FŰTÉS + LÉGTECHNIKA 20°C
HŰTÉS + LÉGTECHNIKA 20°C + PASSZIV SZELLŐZÉS
KOMFORT (K): 4.594 h
ENERGIA (E): 185.227 kWh
K/E: 0,025

<b>MODELL (No.27.)</b>
2-HEJŰ POLIK. 40 CM/1.000 M <sup>2</sup>
1-HEJŰ TETŐ + 20 DB RWA
SZABÁLYOZÁS 17-28 °C
FŰTÉS + LÉGTECHNIKA 20°C
HŰTÉS + LÉGTECHNIKA 20°C + PASSZIV SZELLŐZÉS
KOMFORT (K): 4.997 h
ENERGIA (E): 163.337 kWh
K/E: 0,030

<b>MODELL (No.28.)</b>
1-HEJŰ POLIKARBONÁT/1.000 M <sup>2</sup>
1-HEJŰ TETŐ + 20 DB RWA
SZABÁLYOZÁS 17-28 °C
FŰTÉS + LÉGTECHNIKA 20°C
HŰTÉS + LÉGTECHNIKA 16°C + PASSZIV SZELLŐZÉS
KOMFORT (K): 4.930 h
ENERGIA (E): 179.630 kWh
K/E: 0,027

<b>MODELL (No.29.)</b>
2-HEJŰ POLIK. 40 CM/1.000 M <sup>2</sup>
1-HEJŰ TETŐ + 20 DB RWA
SZABÁLYOZÁS 17-28 °C
FŰTÉS + LÉGTECHNIKA 20°C
HŰTÉS + LÉGTECHNIKA 16°C + PASSZIV SZELLŐZÉS
KOMFORT (K): 5.083 h
ENERGIA (E): 170.194 kWh
K/E: 0,030

<b>MODELL (No.30.)</b>
1-HEJŰ POLIKARBONÁT/1.000 M <sup>2</sup>
1-HEJŰ TETŐ + 20 DB RWA
SZABÁLYOZÁS 17-25 °C
FŰTÉS + LÉGTECHNIKA 20°C
HŰTÉS + LÉGTECHNIKA 16°C + PASSZIV SZELLŐZÉS
KOMFORT (K): 5.693 h
ENERGIA (E): 222.915 kWh
K/E: 0,026

<b>MODELL (No.31.)</b>
2-HEJŰ POLIK. 40 CM/1.000 M <sup>2</sup>
1-HEJŰ TETŐ + 20 DB RWA
SZABÁLYOZÁS 17-25 °C
FŰTÉS + LÉGTECHNIKA 20°C
HŰTÉS + LÉGTECHNIKA 16°C + PASSZIV SZELLŐZÉS
KOMFORT (K): 5.752 h
ENERGIA (E): 212.290 kWh
K/E: 0,027

<b>REFERENCIA</b>
<b>MODELL (No.33.2)</b>
OLDALSÓ MEGVILÁGÍTÁS (1.100 M <sup>2</sup> )
SZABÁLYOZÁS 17-25 °C
FŰTÉS + LÉGTECHNIKA 16°C
HŰTÉS + LÉGTECHNIKA 16°C
KOMFORT (K): 6.955 h
ENERGIA (E): 162.730 kWh
K/E: 0,043

### 3.1 MODELL FÉLNYEREGTETŐ POLIKARBONÁT 600 M<sup>2</sup>

<b>MODELL (No.38.)</b>
2-HEJŰ POLIK. 40 CM/ 600 M <sup>2</sup>
1-HEJŰ TETŐ + 20 DB RWA
SZABÁLYOZÁS 17-28 °C
FŰTÉS + LÉGTECHNIKA 20°C
HŰTÉS + PASSZIV SZELLŐZÉS
KOMFORT (K): 4.988 h
ENERGIA (E): 125.336 kWh
K/E: 0,040

### 3.2 MODELL FÉLNYEREGTETŐ POLIKARBONÁT 600 M<sup>2</sup> EMELET SZENDVICSFAL

<b>MODELL (No.42.)</b>
2-HEJŰ POLIK. 40 CM/ 600 M <sup>2</sup>
2-HEJŰ TETŐ + 20 DB RWA
SZABÁLYOZÁS 17-25 °C
FŰTÉS + LÉGTECHNIKA 20°C
+ LÉGTECHNIKA 16°C + PASSZIV SZELLŐZÉS
KOMFORT (K): 5.739 h
ENERGIA (E): 138.439 kWh
K/E: 0,041

### 3.3 MODELL FÉLNYEREGTETŐ POLIKARBONÁT 600 M<sup>2</sup> EMELET SZENDVICSFAL

<b>MODELL (No.49.)</b>
1-HEJŰ POLIKARBONÁT/ 600 M <sup>2</sup>
1-HEJŰ TETŐ + 21 DB RWA
SZABÁLYOZÁS 17-25 °C
FŰTÉS + LÉGTECHNIKA 20°C
+ LÉGTECHNIKA 14°C + PASSZIV SZELLŐZÉS
KOMFORT (K): 5.170 h
ENERGIA (E): 135.914 kWh
K/E: 0,040

46. ábra: Pécs, Nemzeti Kosárlabda Akadémia sportcsarnoka vázlattekeri modellvariációinak folyamatábrája - Komfort / Energia hányados összehasonlítása

Kapcsolódó publikáció:

- Bálint Baranyai, Bálint Bachmann, István Kistelegdi: '*Simulation-supported design of a Hungarian national sports center*' Pollack Periodica: An international journal for engineering and information sciences (ISSN: 1788-1994).Vol.10.(2) ,(2015) *Befogadva*.

## 4.5 5. Tézis

**A mérésekkel igazolt szimulációkkal bebizonyítottam, hogy lehetséges meglévő épületek szimulációs modellezéssel támogatott üzemeltetési stratégiámódosításával további jelentős energetikai optimalizáció, a szimulációs modellezéssel támogatott energia-menedzsment. Egy épület aktív építészeti és gépészeti elemeinek finomhangolását egyrészt a szimuláció immáron mérésekkel validált pontossága, valamint a méréseknél nagyobb felbontása teszi lehetővé.**

Komplex épületek esetén az épületüzemeltetés optimalizálását célzó energetikai és komfort-elemzésekhez, javaslatokhoz használt, validált dinamikus termikus épület-szimulációk többletpotenciálja a csupán méréstechnológiát alkalmazó épületüzemeltetéshez képest a következőkben mutatkozik meg:

- lényegesen gyorsabb – egy részletes mérés több hetet, hónapot, vagy akár évet(-ket) is igényelhet,
- ugyanazon peremfeltétel bármikor reprodukálható, több üzemeltetési koncepciót lehetséges 100%-ban azonos peremfeltételek mellett tesztelni,
- költséghatékonyabb – egy bizonyos mérési felbontás esetén a szimulációs program használata lényegesen gazdaságosabb, mint egy komplett mérőrendszer kiépítése és üzemeltetése,
- tetszőleges felbontás használható – finomhangolás lehetősége,
- nincs karbantartási igény.

A PTE Energiadesign tanszék, Prof. Dr. Kistelegdi István és a Technische Universität München, Épületklimatika és épületgépészet tanszék Prof. Dr. Gerhard Hausladen (Department of Building Climatology and Building Service, Prof. Gerhard Hausladen), és az ezt a tanszéket követő Épülettechnológia és klímatudatos építés tanszék, Prof. Thomas Auer (Department of Building Technology and Climate Responsive Design, Prof. Thomas Auer) közötti „Épületek termikus teljesítmény menedzsmentje különböző épületszerkezetek és épülettípusok tekintetében” (Load management in buildings considering various construction types and building services) kutatási program keretében a mérésekkel támogatott szimulációs modellezés segítségével a vizsgált referencia épületben a megújuló forrásból előállított villamos energia termikus raktározásának és az ezzel szorosan összefüggő üzemeltetési stratégiák kérdéskörével foglalkoztam. Az épületszerkezetek hőtároló tömegének karakterisztikus vizsgálata és kevésbé ismert energetikai potenciáljának számszerűsítése mérésekkel igazolt termikus szimulációkkal lehetséges. Az üzemeltetési stratégia energafelhasználási optimalizálását célozva az alábbi vizsgálati módozatokat dolgoztam ki:

### **5.1 Kikapcsolási potenciál**

A gépészeti rendszer használati idejének korlátozása a minimális komfortszint biztosítása mellett. Az ún. 'natúr üzemmód' hosszának kiterjesztése és számszerűsítése, amikor a gépészeti rendszer kikapcsolása mellett pusztán az épület hőtároló tömegeinek felhasználásával, az aktív épületszerkezeti elemek időjárás- és helységhasználat függő finom szabályozásával biztosítjuk az épület működését, komfortját. Az előtemperált szerkezetek „szabadon futásának” kiaknázása a gépészeti temperáló rendszer tudatos és szakaszos kikapcsolásával.

Jellemzően a tavaszi/őszi átmeneti időszakban, nappal kizárólag természetes szellőzés alkalmazása, valamint a nyári éjszakai átszellőzéssel a szerkezetek visszahűtése, emellett a nyári nappali időszakban a talajszondák által

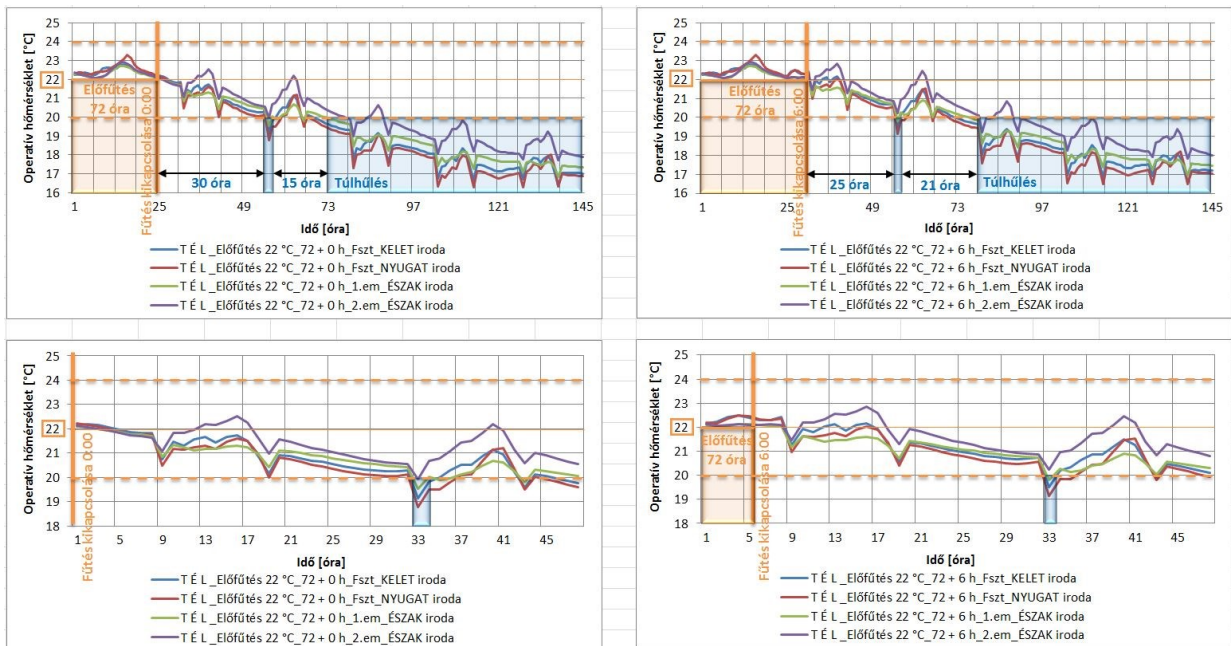
szolgáltatott hűtőközeg plusz gépészeti rásegítés („aktív hűtés”) nélküli használatának („passzív hűtés”) időbeli kiterjesztése.

A hőtároló tömegek hőtároló potenciáljának feltárásához és a gépészeti temperáló rendszer leghatásosabb üzemidejének meghatározásához először próbaszimulációkat végeztem. Mindegyik szimulációban 72 óra előtemperálást alkalmaztam – télen 22 °C-ra, nyáron 24 °C-ra -, de a fűtést/hűtést különböző napszakokban kapcsoltam ki – 0:00, 6:00, 12:00 és 18:00 órakor. A vizsgálat alkalmas volt egyrészt a vizsgált referenciaépület szerkezeteinek lehűlést/felmelegedést csillapító hatásának és karakterisztikájának feltárására, másrészt ezzel egyidejűleg, a külső környezeti és a belső, használatfüggő hőnyereségek/hőterhelések hőkomfortra való hatásának kimutatására.

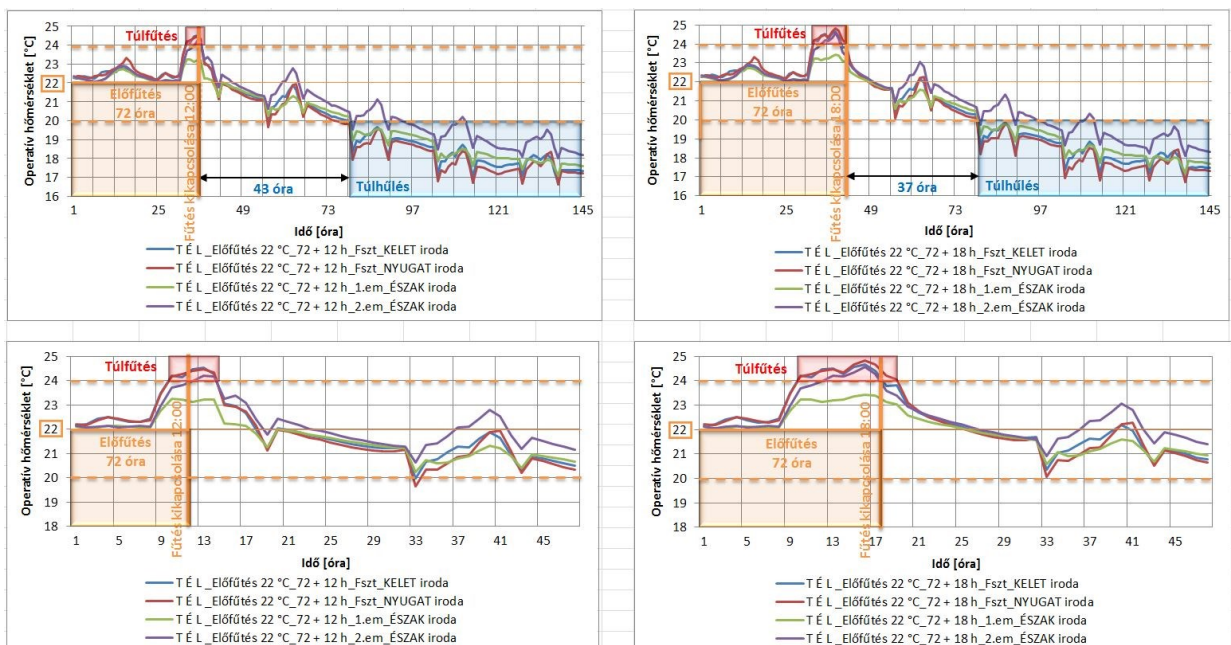
A kiértékeléshez az épület 4 legmagasabb komfortigényű, különböző tájolású és helyzetű irodájának hőkomfortját elemeztem. A földszinti keleti és nyugati, valamint az első emeleti, északi iroda azonos alapterületű és használatú (dolgozók, berendezések száma, teljesítménye), a második emeleti északi iroda jelentősen nagyobb, emellett többen is használják, több, nagyobb teljesítményű berendezéssel, mely a belső hőnyereségben /hőterhelésben is megmutatkozik.

A grafikonokon (47-48. ábra) jól nyomon követhető, hogy az épület reális használatát lekövető szimuláció során éppen a komfort növelése céljából a légtechnika munkaidő előtti és utáni intenzívebb alkalmazása milyen negatívan befolyásolja a szubjektív hőérzetet is kifejező operatív hőmérsékletet. Emellett jól látható munkaidőben a dolgozók és az általuk használt berendezések belső hőnyeresége/hőterhelése, ezzel párhuzamosan a tájolástól függő délelőtti (keleti iroda), illetve délutáni (nyugati iroda) szoláris hőnyereség/hőterhelés hatása is, melyek együttesen télen javítják, nyáron csökkentik a belső hőkomfortot. Ehhez járul hozzá napközbeni használat

(12:00 és 18:00 kikapcsolás) esetén a temperálás hatása, mely télen akár túlfűtéshez is vezetett.



47. ábra: Kikapcsolási potenciál vizsgálata – Fűtés – kikapcsolás 0:00 és 6:00 órakor



48. ábra: Kikapcsolási potenciál vizsgálata – Fűtés – kikapcsolás 12:00 és 18:00 órakor

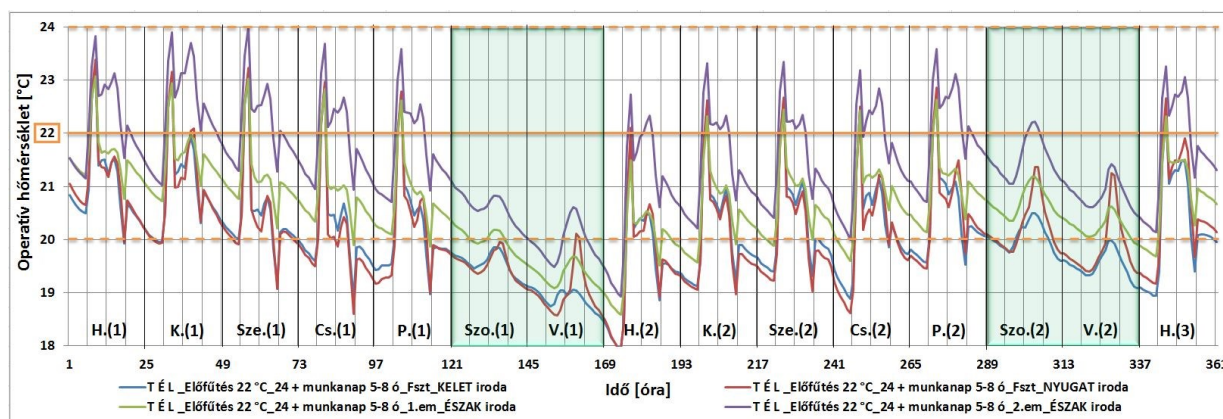
Az eredmények elemzése során azokat az időintervallumokat kerestem, amikor a lehető legrövidebb időkeretek között a temperáló rendszer a leghatékonyabban tudja kifejteni hatását, figyelembe véve a külső/belső hőnyereséget/hőterhelést is, illetve, amikor a legnagyobb szükség van rá a



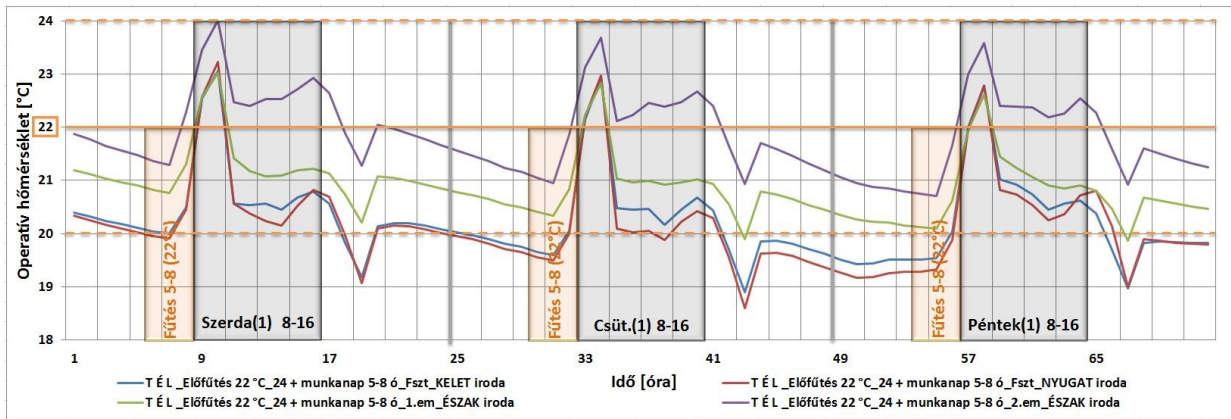
használat függvényében – túlhűlés/túlmelegedés. Ezen iterációs folyamat eredményeként sikerült meghatározni azokat az időszavokat, amikor az épület szerkezeti adottságait kihasználva a gépészeti temperáló rendszer leg-  
rövidebb idejű használatával biztosítható a belső hőkomfort, az épület helyiségei a legalacsonyabb energiabefektetéssel hön tarthatók.

A téli időszakban, amikor a szerkezetek hőtehetetlensége és különösen a hőszigetelés hatása jobban érvényesül, így az optimális minimum fűtés időkeretét - annak célzott időzítésével - 3 órás időtartamra sikerült redukálni (49-52. ábra). A közvetlenül munkakezdés előtti 3 órás 22 °C-ra való előtemperálással a dolgozók, egy a délelőtt folyamán folyamatosan melegedő térbe lépnek, ami pszichológiailag sem elhanyagolható szempont. Energetikailag pedig egyértelmű előnnyel jár a folyamatos 22 °C-ra való temperálással szemben. Az elemzést kiterjesztettem két hetes időtartamra a lassabb visszahűlés lehetőségének elkerülésére - ami rövidebb fűtési időszakokban elő is fordult -, így egymás után 3 hétfői napot tudtam vizsgálat tárgyává tenni.

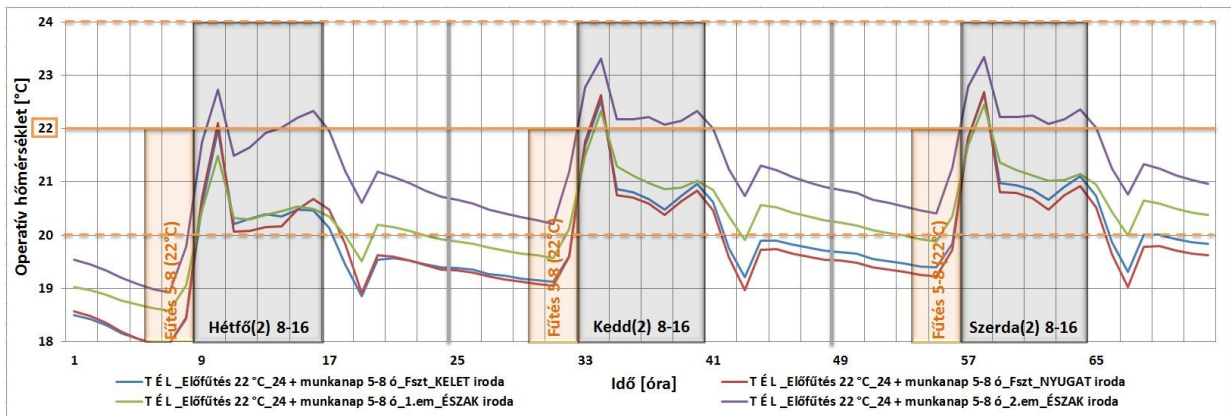
Számszerűsítve, a csupán hétköznap 5-8 órág tartó, 22 °C-ra való helyiség-fűtés 2.390 kWh fűtési energiát igényelt a szimuláció 15 napja során, mely pusztán 66 %-a a folyamatos (hétköznap és hétvégén, 0-24 ó) temperálás 3.598 kWh energiaigényének. Ehhez hozzáadódik még a légtechnika kalorifereinek fűtési igénye, de jelen vizsgálatban csak a szerkezetekbe beépített (padló- és szerkezettemperálás), azokat közvetlenül temperáló fűtési potenciált elemeztem.



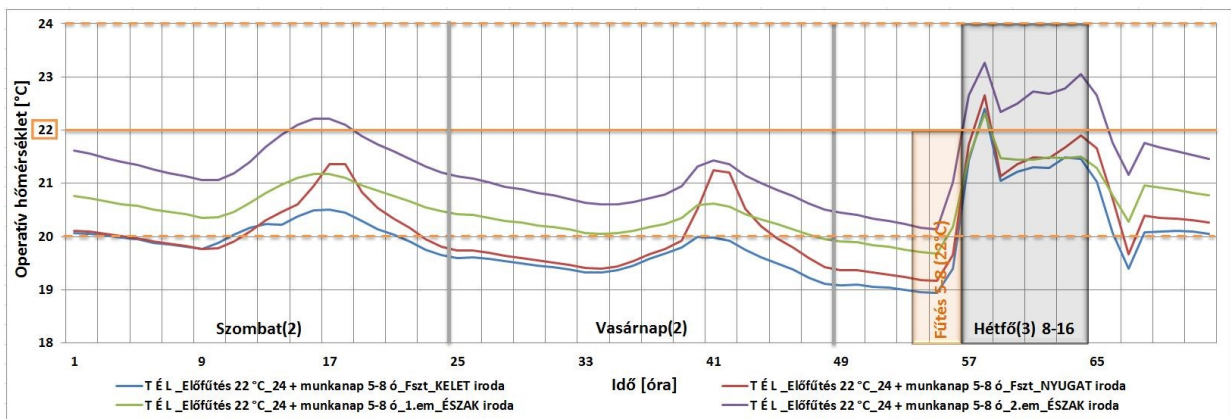
49. ábra: Kikapcsolási potenciál eredménye – Fűtés – 15 napos kimutatás



50. ábra: Kikapcsolási potenciál eredménye – Fűtés – első hét - 3 napos kimutatás



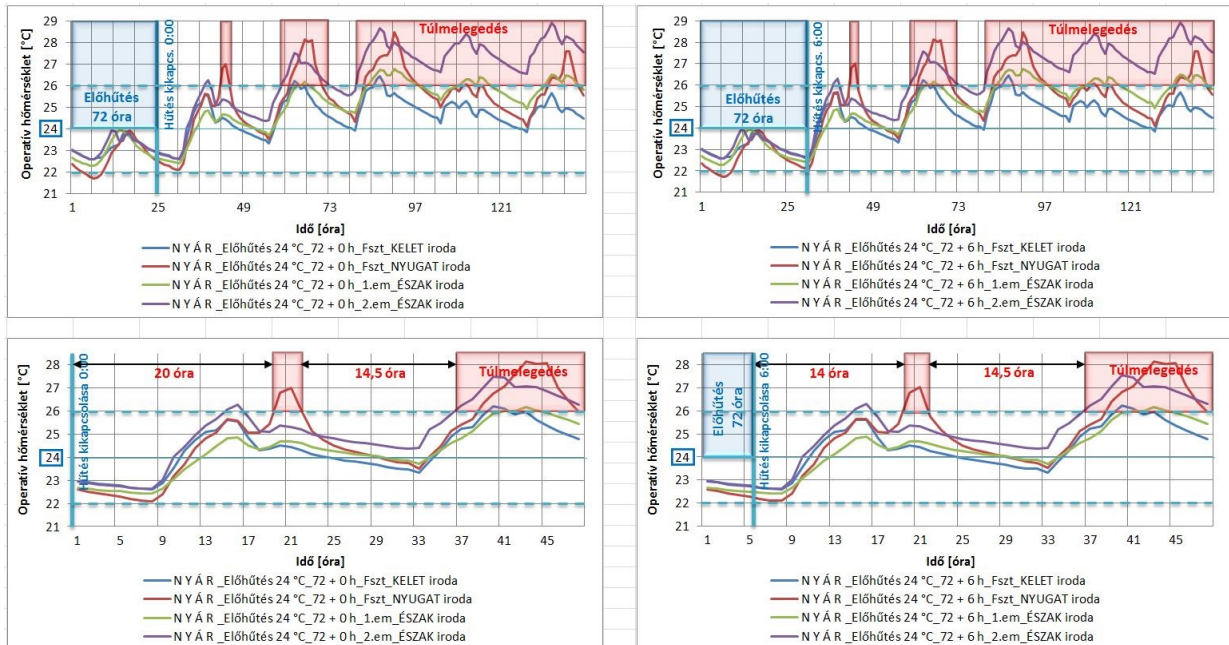
51. ábra: Kikapcsolási potenciál eredménye – Fűtés – második hét - 3 napos kimutatás



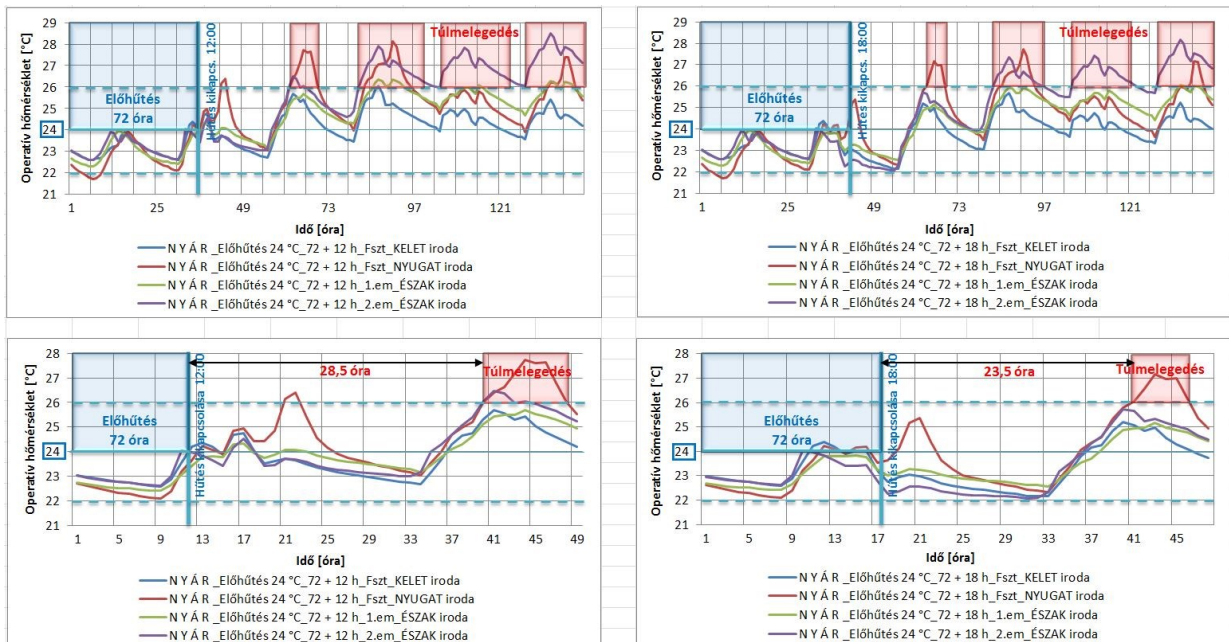
52. ábra: Kikapcsolási potenciál eredménye – Fűtés – harmadik hét -3 napos kimutatás

A hűtési időszak nehezebb feladatnak bizonyult optimalizálás szempontjából, hiszen itt a külső és belső hőnyereségek egymást erősítő hőteherként jelentkeznek. Az alapszimulációk (53-54. ábra) kiértékelése után ezért ezeket a csúcsokat vettem célba különböző időzítésű és hosszúságú hűtési intervallumok beiktatásával. Ezen iterációs kísérletsorozat eredményeképpen

végül csak napi két hűtési időkerettel tudtam az intenzív felmelegedést a munkaidőn belül meggátolni. A grafikonokon szembeűnő a nyugati iroda délutáni extra hőterheléséből fakadó intenzív felmelegedése.



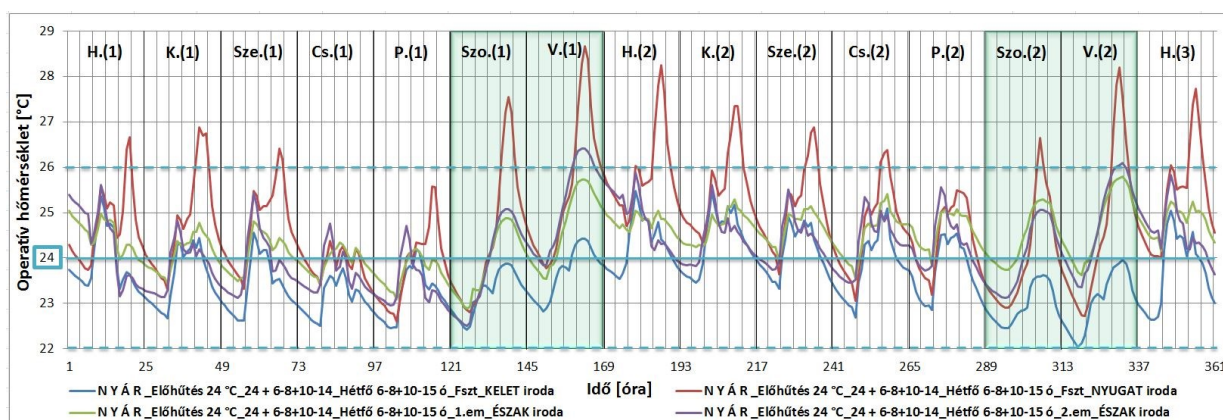
53. ábra: Kikapcsolási potenciál vizsgálata – Hűtés – kikapcsolás 0:00 és 6:00 órákor



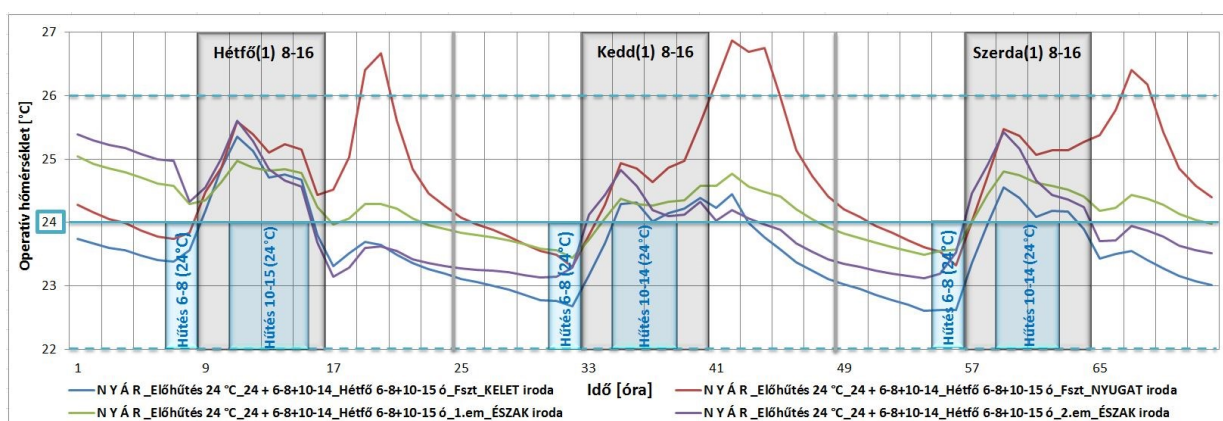
54. ábra: Kikapcsolási potenciál vizsgálata – Fűtés – kikapcsolás 12:00 és 18:00 órákor

Az elemzést itt is kiterjesztettem 15 napos időtartamra az esetleges lassabb túlmelegedés kockázatának elkerülésére, így egymás után 3 hétfői napot tudtam elemezni. (55-58. ábra)

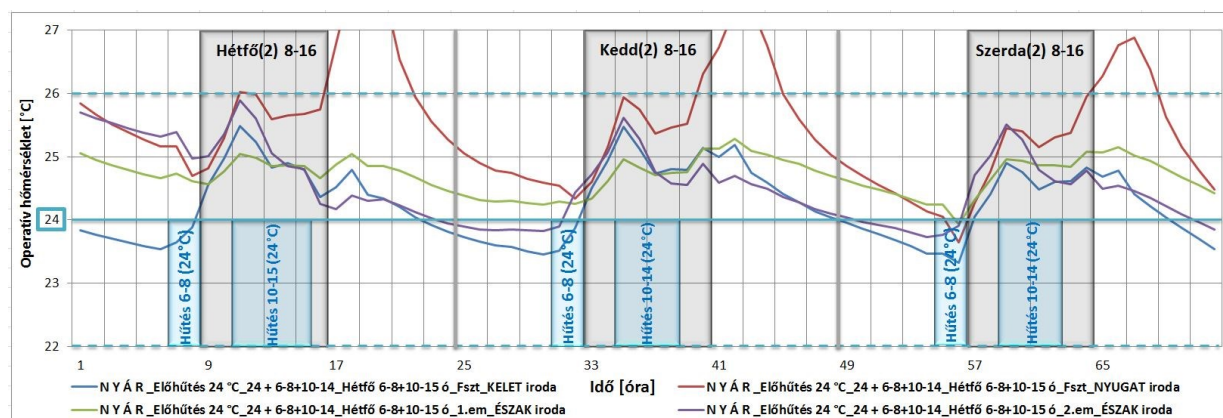
A hétfői napokon a napközbeni hűtést 1 órával meg kellett toldanom a hétvégi túlmelegedés ellensúlyozására. Számszerűsítve, a a csupán hétköznap 6-8 és 10-14 (hétfőnként 10-15) óráig tartó, 24 °C-ra való helyiség-hűtés 4.589 kWh hűtési energiát igényelt a szimuláció 15 napja során, mely pusztán 57 %-a a folyamatos (hétköznap és hétvégén, 0-24 ó) temperálás 8.073 kWh energiaigényének. Ehhez jön még a légtechnika kalorifereinek hűtési igénye, de jelen elemzésben csak a szerkezetekbe beépített (padló- és szerkezettemperálás), azokat közvetlenül temperáló hűtési potenciált vizsgáltam.



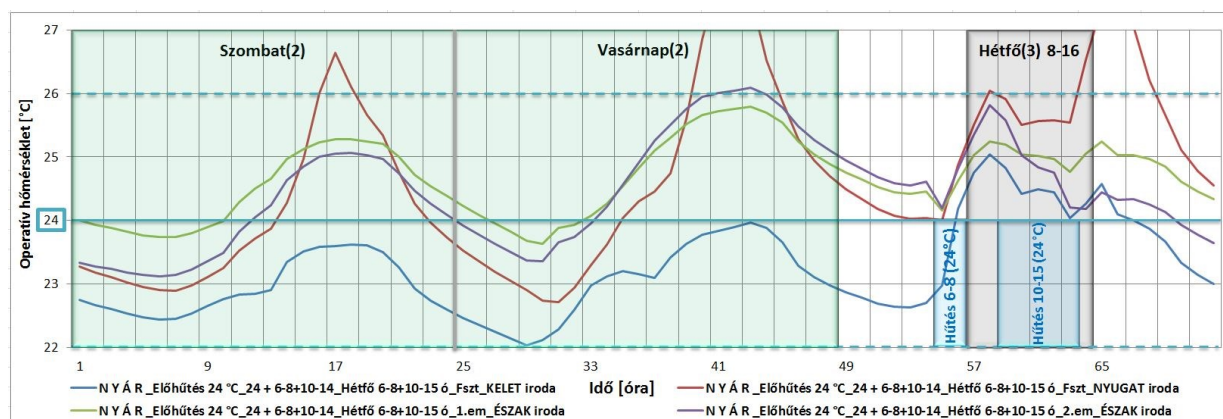
55. ábra: Kikapcsolási potenciál eredménye – Hűtés – 15 napos kimutatás



56. ábra: Kikapcsolási potenciál eredménye – Fűtés – első hét - 3 napos kimutatás



57. ábra: Kikapcsolási potenciál eredménye – Fűtés – második hét - 3 napos kimutatás

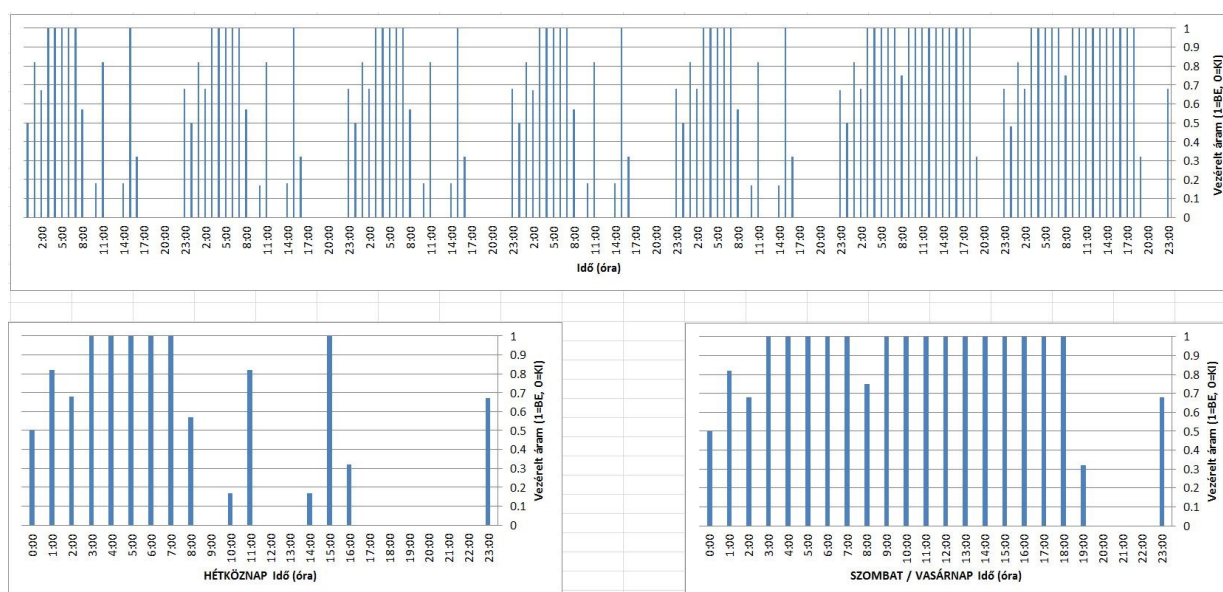


58. ábra: Kikapcsolási potenciál eredménye – Fűtés – harmadik hét -3 napos kimutatás

## 5.2 Bekapcsolási potenciál

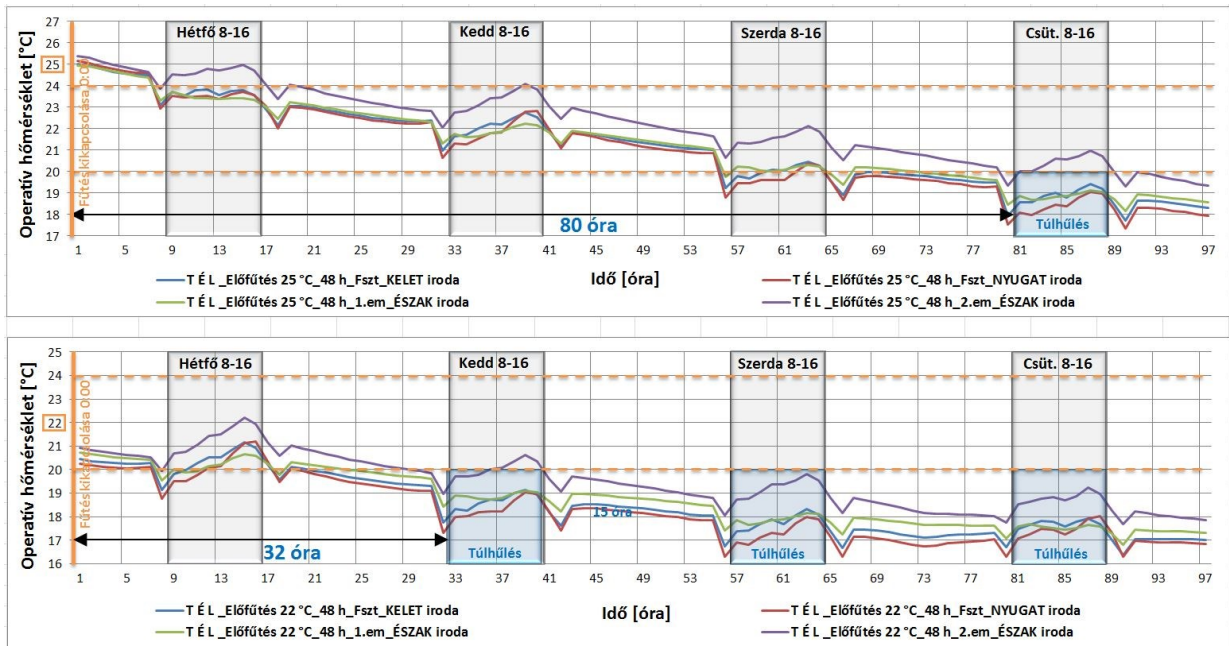
A megújuló energiaforrások által szolgáltatott, az aktuális időjárási körülményektől függő hő-, vagy elektromos energianyereség elraktározása a jelenlegi technológiai rendszerekkel csak korlátozottan (puffertartálykapacitás), vagy meglehetősen költséges módon (akkumulátor-telep) lehetséges. Ezért felvetődik, hogy az épület hőtároló tömegeibe, mint hőakkumulátorokba előzetesen kerüljön „betáplálásra” a következő órák/napok fűtési/hűtési hőszükséglete, így áthidalhatók a nap- vagy szélmentes időszakok, vagy a magasabb költséggel elérhető energiaforrások. Ehhez a gépészeti rendszer használati idejét kell hozzáigazítani a megújuló energiaforrások aktuális meglétéhez. Előfűtés/előhűtés alkalmazása szükséges azokban az időszakokban, amikor rendelkezésre áll szél-, vagy napenergia, vagy a hőszivattyúkhöz „vezérelt” áram. [14]

A demonstrációs épület validált szimulációja segítségével megvizsgáltam, hogy egy-egy reprezentatív fűtési (január) és hűtési (augusztus) időszakban a vezérelt („zöld”, vagy olcsóbb) villamos áram rendelkezésre állásáról adatot szolgáltató (BMS) mérések alapján (59. ábra) a hétvégi időszakban mekkora hőenergiát lehet az épület szerkezeteibe eltárolni és az milyen időintervallumban képes az épületet megfelelő komforton temperálni. A cél eléréséhez vizsgált időszakokban kismértékű túlfűtést, illetve túlhűtést alkalmaztam a rendelkezésre álló „zöld”, vagy olcsóbb energia intenzívebb kihasználása érdekében.



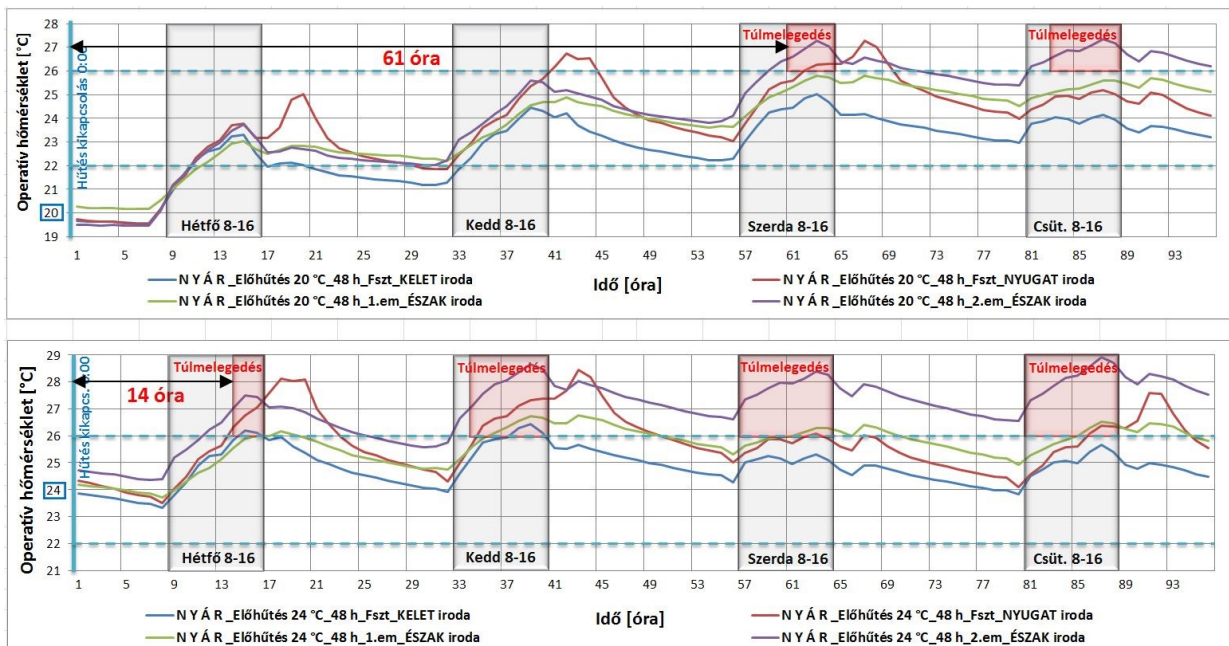
59. ábra: Bekapcsolási potenciál vizsgálata – vezérelt áram rendelkezésre állása (BMS)

Egy reprezentatív januári hétvége alatt az épületben egyébként alkalmazott 22 °C-ra való fűtés helyett 25 °C-ra temperáltam a helyiségeket, majd vasárnap éjfélkor kikapcsoltam. A szombat-vasárnap rendelkezésre álló összesen 44 órányi vezérelt árammal összesen 424 kWh hőenergiát tudtam az épületbe és annak szerkezetibe betáplálni, mely 40%-kal több, mint az alapfűtés 302 kWh fűtési energiaközlése. Ezzel a többlettel 80 óráig biztosítható lenne – munkaidőben – az épület fűtése az alapfűtés 32 órára elegendő hőenergiájával szemben (60. ábra)



60. ábra: Bakapcsolási potenciál eredménye – Fűtés összehasonlítás 25°C vs. 22°C

Egy reprezentatív augusztusi hétvége alatt az épületben alkalmazott 24 °C-ra való hűtéssel szemben 20 °C-ra temperáltam a helyiségeket, majd vasárnap éjfélkor kikapcsoltam. A szombat-vasárnap rendelkezésre álló 44 órányi vezérelt árammal összesen 588 kWh hűtési hőenergiát tudtam az épületbe betáplálni, mely 10%-kal több, mint az alaphűtés 533 kWh hűtési energiája. A többlettel az épület hűtése 61 óráig biztosítható lenne az alaphűtés 14 órára elegendő hűtési energiájához viszonyítva(61. ábra).



61. ábra: Bakapcsolási potenciál eredménye – Hűtés összehasonlítás 25°C vs. 22°C

Kapcsolódó publikáció:

- Bálint Baranyai, Bálint Bachmann, István Kistelegdi: '*Simulation-supported design of a Hungarian national sports center*' Pollack Periodica: An international journal for engineering and information sciences (ISSN: 1788-1994). Vol.10.(2), (2015) *Befogadva*.
- Kistelegdi István, Baranyai Bálint, Bachmann Bálint, Baumann Mihály, Lenkovics László: '*Elméleti és gyakorlati épületenergetika*' Megtérülő épületenergetika (ISSN 2064-5872). II. évf. 1. - 2.sz. (2015)

## **5. A kutatás elért eredményei és alkalmazási területei, hasznosíthatósága**

A beállítások finomításával – a valósághoz való virtuális közelítéssel és nem utolsósorban a programok párhuzamos fejlődésével – a szimulációs eredmények egyre jobban megközelítik a valósan mért értékeket, hozzásegítenek a szimulációs módszer igazolásához, alkalmazásának megbízhatóságához, végső soron az alkalmazott speciális tervezési módszer és az általa nyújtott üzemeltetési koncepciók további fejlesztéséhez.

A kutatás perspektívát nyújt, a vizsgált épületek analógiáján, más épülettípusok (pl.: társasházak, óvodák, egyéb szociális és közintézmények) hasonló kutatásához, valamint a vizsgált funkciók (iroda, oktatási, ipari épületek) további részletes elemzéséhez. Ezek segítségével lehetővé válik a teljes épületállomány energetikai és komfort-optimalizálási fejlesztési lehetőségeinek feltárása, ami alapját képezi településszintű (smart city) és országreszerekre vetíthető hosszú távú energetikai stratégiák kidolgozásának.

## **6. A kutatási terület további perspektívái**

A beállítások finomításával – a valósághoz való virtuális közelítéssel és nem utolsósorban a programok párhuzamos fejlődésével – a szimulációs eredmények egyre jobban megközelítik a valósan mért értékeket, hozzásegíte-



nek a szimulációs módszer igazolásához, alkalmazásának megbízhatóságához, végső soron az alkalmazott speciális tervezési módszer és az általa nyújtott üzemeltetési koncepciók további fejlesztéséhez. Kérdés, hogy 90 %-ot meghaladó pontosságú szimulációs technika is elérhető-e?

A kutatás perspektívát nyújt, a vizsgált épületek analógiáján, más épülettípusok (pl.: társasházak, óvodák, egyéb szociális és közintézmények) hasonló kutatásához, valamint a vizsgált funkciók (iroda, oktatási, ipari épületek) további részletes elemzéséhez. Ezek segítségével lehetővé válik a teljes épületállomány energetikai és komfort-optimalizálási fejlesztési lehetőségeinek feltárása, ami alapját képezi településszintű (smart city) és országrészekre vetíthető hosszú távú energetikai stratégiák kidolgozásának.

A több évre visszatekintő, a PTE Energiadesign tanszék, Prof. Dr. Kistelegdi István és a Technische Universität München, Épületklimatika és épületgépészet tanszék Prof. Dr. Gerhard Hausladen (Department of Building Climatology and Building Service, Prof. Gerhard Hausladen), és az ezt a tanszéket követő Épülettechnológia és klímatudatos építés tanszék, Prof. Thomas Auer (Department of Building Technology and Climate Responsive Design, Prof. Thomas Auer) közötti kutatási együttműködést kiaknázva, jelenleg előkészítés alatt áll egy további közös kutatási program, mely jelen kutatásaim eredményeivel további épületenergetikai és komfort-klimatikai szimulációs fejlesztéseket céloz meg más épületfunkciók esetében, továbbá városi léptékű modellezés tekintetében.

A nagyfelbontású épületmonitorozó rendszer segítségével ugyancsak lehetséges, sőt szükséges vizsgálni, hogy a különböző gépészeti fűtő/hűtő és légtechnikai rendszereinek dinamikus, termikus épület-szimulációi hogyan igazolhatók és kalibrálhatók. Ezzel a módszerrel nem csak a referenciaépület adott épületgépészeti rendszere optimalizálható, hanem akár teljesen új épülettechnológiai megoldások is kidolgozásra kerülhetnek.

A valós mérési adatgyűjtéssel folyamatos kölcsönhatásban felhasznált komplex épületfizikai szimulációs szoftverek használata során feltárt korlá-

tok, pontatlanságok és hiányosságok szorgalmazzák a komplex zóna alapú épületfizikai szimulációs szoftverek további kutatás-fejlesztését. Kutatási megállapodás keretében egyenesen a szoftver fejlesztője (EQUA Solutions-Technische Hochschule, Luzern, Svájc) bocsátotta rendelkezésre teszt-üzemre céljából a program legújabb 4.7.1 béta verzióját, melynek használatából eredő tapasztalatainkról első kézből adhatunk visszacsatolást a program optimalizálásához.

A kutatási projekt több szempontból is nemzetgazdasági jelentőséggel bír, mivel segítségével épületfunkció specifikus üzemeltetési, felújítási és tervezési energetikai-szisztémák jöhetnek létre, így nem csupán adott épületek fogyasztását lehet csökkenteni, hanem az egyre növekvő jelentőséggel bíró településekre és régiókra készülő energetikai stratégiák alapjául is szolgál. Ezen túlmenően az épületállomány fogyasztásának optimalizálásával csökkenhet az ország energiainport függősége és CO<sub>2</sub>-kibocsátása is. A kutatás alapjául szolgáló épületek egyedülálló, nagyléptékű geotermikus szonda-mezőinek kutatása pedig a hazai megújuló energia gyakorlati hasznosítása szempontjából nyújt kulcsfontosságú információt.

A referenciaépületben az üzemeltetési stratégia energiafelhasználási optimalizálásában a továbbiakban a következő stratégiák tesztelését tervezem:

- A gépészeti rendszer kombinált ki- és bekapcsolási potenciál vizsgálatának időbeli kiterjesztése az átmeneti (tavaszi/őszi) időszakokra a természetes szellőzés időjárás- és helységhasználat függő bevonásával. Ugyancsak a nyári éjszakai természetes átszellőztetéssel elérhető szerkezetvisszahűtés vizsgálata és bevonása az üzemeltetési (komfort/energia) optimalizációs folyamatba.
- Időkorlát nélküli gépészeti működtetés keretében a gépészeti rendszer hatékonyságának növelése, számszerűsített, maximális kihasználása a rendszerelemek és az épülethasználat egymásra hatását figyelembe vevő komplex szabályozással.

- A felhasználói viselkedés klimatikai és épületenergetikai hatásmechanizmusának modellezett vizsgálata és dokumentálása. Alapja a szabványosított komforttartomány (21-25 °C) kiterjesztése a még elfogadható komfortigény határáig az elérhető maximális energiamegtakarítás céljából, illetve az adaptív termikus komfortmodell alkalmazása, a referenciaépületben való fejlesztése.

A kutatási munka tartalmilag szervesen kapcsolódik „Az új Széchenyi Terv, TÁMOP-4.2.1/B-10/2/KONV-2010-0002 A Dél-dunántúli régió egyetemi versenyképességének fejlesztése. Kutatócsoport 1, Energia Design és komplex épületklimatológia” és „Az új Széchenyi Terv, TIOP 1.3.1-10/1-2010-0008, A Pécsi Tudományegyetem kutatási kiválósági területeinek komplex infrastrukturális fejlesztése, Energiadesign és épületklimatikai labor kialakítása” K+F+I kutatási pályázati programok célkitűzéseinek megvalósításához. A kutatás megvalósítását a fenti pályázatok mellett a Nemzeti Kiválóság program keretében 2013-ban elnyert Apáczai Csere János ösztöndíj tette lehetővé.

## Hivatkozások

- [1] European Commission, Energy Roadmap 2050, Brussels, COM(2011) 885/2[http://ec.europa.eu/energy/energy2020/roadmap/doc/com\\_2011\\_8852\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/energy/energy2020/roadmap/doc/com_2011_8852_en.pdf)
- [2] Jan L. M. Hensen, Roberto Lamberts: *Building Performance Simulation for Design and Operation*, Spon Press, 2011, p. 3
- [3]<http://www.tandfonline.com/action/doSearch?quickLinkJournal=&journalText=&AllField=validation&publication=40001457>
- [4] [http://www.ibpsa.org/?page\\_id=292](http://www.ibpsa.org/?page_id=292)
- [5]<http://www.klima.ar.tum.de/weiterbildender-masterstudiengang-climadesign/> <http://www.energiadesign.hu/>
- [6] István Kistelegdi: „Roadmap für einen Climadesign Entwurf“, Masters’Thesis, ClimaDesign MSc mesterképzés, Technische Universität München, Lehrstuhl für Bauklimatik und Gebäudetechnik, Prof. Dr. Gerhard Hausladen.
- [7] Dr. habil Kistelegdi István DLA: „Plusenergia potenciál egy ipari és irodaépületben“, Ph.D. értekezés téziszülete, 2013, Pécsi Tudományegyetem, Pollack Mihály Műszak és Informatikai Kar, Energiadesign Tanszék
- [8] Dinamikus szimulációkkal támogatott épületmonitoring kutatási program a megvalósított plusenergia potenciállal rendelkező ipari és irodaépületben a PTE és a Rati Kft. közötti együttműködési megállapodás keretében, 2013-tól.
- [9] István Kistelegdi, Bálint Baranyai: „Windkanaluntersuchungen zwecks Quantifizierung und Validierung der eines industriellen Innovationszentrums“, Bauphysik 34 (2012), Heft 5, 229-237 old., ISSN 0171-5445 (print), IF: 0,232
- [10] E. Seinre, H. Voll: *Energy efficiency regulations in Estonia*, in: International Journal of Energy and Environment, Issue 1, Volume 5, 2011
- [11] István Kistelegdi, István Haber: „Gebäudeaerodynamische Untersuchungen einer Plusenergie-Produktionsstätte mit passiven Lüftungstürmen in Sikonda (Südungarn)“, Bauphysik 34 (2012), Heft 3, 107-120 old., ISSN 0171-5445 (print), IF: 0,232
- [12] Dr. Sven Moosberger: Dynamische Gebäudesimulation – für jedermann?, 15. Schweizerisches Status-Seminar „Energie und Umweltforschung im Bauwesen“, 1.-12.09.2008, ETH Zürich
- [13] Dipl. HLK. Ing. FH Iwan Plüss: Planungssicherheit dank Simulationen, Master kurzus jegyzet, 2010, M08\_Vortrag\_Iwan\_Puess.pdf, Technische Universität München, ClimaDesign, Modul 8 „Hőmérséklet (Temperatur)“
- [14] Hausladen, G. Et al.: Dynamische Gebäudesimulationen, 2002, Technik am Bau 03/2002, 97.-102. old.

## Saját publikációk a témában

### Egyetemi jegyzet

- Baranyai Bálint, (lektor: ifj.prof.dr.habil.Kistelegdi István DLA, Ph.D): *EnergiaDesign Alapismeretek* – elektronikus egyetemi jegyzet (terjedelem: 103 oldal) – 2014, TÁMOP-4.1.1.C-12/1/KONV-2012-0012 „Zöld Energia Felsőoktatási Együttműködés” (ZENFE) Tananyagfejlesztés keretében
- Baranyai Bálint, (lektor: ifj.prof.dr.habil.Kistelegdi István DLA, Ph.D): *EnergiaDesign Középülettervezés* – elektronikus egyetemi jegyzet (terjedelem: 101 oldal)– 2014, TÁMOP-4.1.1.C-12/1/KONV-2012-0012 „Zöld Energia Felsőoktatási Együttműködés” (ZENFE) Tananyagfejlesztés keretében
- Baranyai Bálint, (lektor: ifj.prof.dr.habil.Kistelegdi István DLA, Ph.D): *Dinamikus szimulációval segített EnergiaDesign tervezés* – elektronikus egyetemi jegyzet (terjedelem: 88 oldal) – 2015, TÁMOP-4.1.1.C-12/1/KONV-2012-0012 „Zöld Energia Felsőoktatási Együttműködés” (ZENFE) Tananyagfejlesztés keretében
- Baranyai Bálint, (lektor: ifj.prof.dr.habil.Kistelegdi István DLA, Ph.D): *EnergiaDesign aerodinamika* – elektronikus egyetemi jegyzet (terjedelem: 64 oldal) – 2015, TÁMOP-4.1.1.C-12/1/KONV-2012-0012 „Zöld Energia Felsőoktatási Együttműködés” (ZENFE) Tananyagfejlesztés keretében

### Könyvfejezet

- Baranyai Bálint, Póth Bálint, ifj. Kistelegdi István: *'ENERGIADESIGN – Polydimenzionális tervezési-kutatási módszer'*, In: Buday-Sántha Attila, Danka Sándor, Komlósi Éva (szerk.) Régiók fejlesztése 2013/1-3: 2013/1 tanulmánykötetben 80-92. o. (ISBN:978-963-642-529-6), Konferencia helye, ideje: Pécs, PTE 2013.05.23-24.
- Baranyai Bálint, ifj. Kistelegdi István: *'Középületek energiafelügyeleti monitorozása és vezérlése'* In: Buday-Sántha Attila, Danka Sándor, Komlósi Éva (szerk.) Régiók fejlesztése 2013/1-3: 2013/3 tanulmánykötetben 12. - 24. o. (ISBN:978-963-642-531-9), Konferencia helye, ideje: Pécs, PTE 2013.05.23-24.

## Folyóirat cikk

- Bálint Baranyai, Bálint Bachmann, István Kistelegdi: '*Simulation-supported design of a Hungarian national sports center*' Pollack Periodica: An international journal for engineering and information sciences (ISSN: 1788-1994).Vol 10.(2), 2015. *Befogadva*.
- Kistelegdi István, Baranyai Bálint, Bachmann Bálint, Baumann Mihály, Lenkovics László: '*Elméleti és gyakorlati épületenergetika*' Megtérülő épületenergetika (ISSN 2064-5872). II. évf. 1.- 2.sz. (2015)
- Bálint Baranyai, István Kistelegdi (Jr.): "Energy management monitoring and control of public buildings", in: Pollack Periodica: An international journal for engineering and information sciences (ISSN: 1788-1994). Vol. 9:(2) pp. 77-88. (2014) HU ISSN 1788-1994 Link: DOI
- Bálint Baranyai, Bálint Póth, István Kistelegdi (Jr.): '*Planning and research of smart buildings and constructions with the 'ENERGYDESIGN roadmap method'*', in: Pollack Periodica: An international journal for engineering and information sciences (ISSN: 1788-1994). Vol.8. (1) pp. 15-26. (2013)
- István Kistelegdi, Bálint Baranyai: "*Windkanaluntersuchungen zwecks Quantifizierung und Validierung der eines industriellen Innovationszentrums*", Bauphysik 34 (2012), Heft 5, 229-237 old., ISSN 0171-5445 (print), IF: 0,232

## Konferencia cikk

- Bálint Baranyai, István Kistelegdi, Bálint Bachmann : '*Potential analysis of dynamic, thermal building simulations and development of measurement aided simulation technique*' - Accepted 2nd International Academic Conference „Places and Technologies 2015”Konferencia helye, ideje:Nova Gorica,Szlovénia,2015.06.18-19.
- István Kistelegdi, Jenő Balogh, Bálint Bachmann, Bálint Baranyai: '*Potential Analysis of the Energy and Climate Performance of Wood-Concrete Hybrid Building Structures*' In: Alexander Salenikovich (szerk.) WCTE 2014 - World Conference on Timber Engineering, Book of Abstracts: Volume II. Konferencia helye, ideje: Quebec, Kanada, 2014.08.10-2014.08.14. Quebec: World Conference on Timber Engineering (WCTE),2014. pp. 193-194. (ISBN:978-0-86488-560-9) Link: Teljes dokumentum
- István Kistelegdi, Bálint Baranyai: '*Dynamic Simulation Supported*

*Indoor Climate and Energy Building Modelling'* (paper ID A4359) ICCEA 2012 Konferencia Hong Kong-ban, in: IACSIT International Journal of Engineering and Technology, Vol. 5, No. 2, April 2013.ISSN,1793 8236, DOI: 10.7763/IJET.2013.V5.537

- Bálint Baranyai, István Kistelegdi Jr.: *'Validation of dynamic, energetic and climatic simulations of public buildings with real measurements phase I.'* In: Peter Ivanyi (szerk.) Architectural, Engineering and Information Sciences - 9th International PhD & DLA Symposium: Abstract Book. Konferencia helye, ideje: Pécs, Magyarország, 2013.10.21-2013.10.22. Pécs: University of Pécs Pollack Mihály Faculty of Engineering, 2013. p. 26. (ISBN:978-963-7298-54-7) Befoglaló mű link(ek): OSZK

## **Előadás**

- Baranyai Bálint: *'Középületek dinamikus energetikai és klimatikai szimulációinak valós mérésekkel való igazolása - I. ütem'* – CONSTRUMA 2014.04.03.– „ÖkoCity” szekcióelőadás a HuGBC támogatásával <http://epiteszforum.hu/hogyan-tovabb-ok-city-egyetem- nap-a-construman>

