



Pécsi Tudomány Egyetem
Pollack Mihály Műszaki és Informatikai Kar
Energiadesign Tanszék



Pluszenergia potenciál egy ipari és irodaépületben

PhD értekezés téziszűzete

Dr. habil Kistelegdi István DLA
okl. építészmérnök
ClimaDesign M.Sc. (TUM)

Pécs, 2013.

1. Előzmények

A törvényhozói oldal a legnagyobb energia- és klímaproblémát okozó szektort – az építőipart – szigorúan reklementálja: az Európai Unió parmlantje az EPDBD 2010/31/EU direktívájában előírja, hogy 2020-tól az EU tagállamokban új létesítendő épületeknek közel zéró energiamérleggel kell rendelkeznie. Ezenkívül az EU az üvegházhatást okozó gázkibocsátást 80-95%-al az 1990-ben kimutatott értékek alá szándékozik csökkenteni 2050-ig [1].

E fenntartható fejlődés megvalósításának érdekében, nem csak egyes új épületek, hanem a világ épületállományának közel 95%-át képező meglévő épületszubsztatnia – egész települések – energetikai performance-ével is foglalkozni kell: a települések felújításra, illetve átalakításra szorulnak, ami következtében nullenergia szintre emelkedik az energiamérlegük. A meglévő épített környezet energiaoptimált felújítása gyakran nem éri el a nullenergia szintet gazdasági vagy műemlékvédelmi előírások végett. A régi épületek által generált energiadeficitet az újonnan létesítendő pluszenergiás épületek képesek pótolni többlet energiatermelésükkel.

Ezt a teljesítményt kizárólag egy intelligensen működő, smart épület képes elérni, mely térszervezési, szerkezeti és működési koncepciója a helyi instacioner adottságokat kiaknázva, optimális hő-, fény- és légtechnikai kondíciókat hoz létre belső terekben, szimultán környezeti energiatermelés mellett. A többlet energiát a városi rendszer smart energiahálózataiba exponálva, megtörténhet az első lépés a smart városok komplex megvalósítása felé. Ez az épületperformance az épületek és épülettechnológiák komplexitását exponenciálisan növeli, magas használói és teljesítménybeli igényekkel. A komplex feladat megoldásához a smart épületek smart tervezési módszert igényelnek.

A pluszenergia épületek modellezésével foglalkozó vizsgálatok kiindulópontja egy első exemplarikus épületmodellezési példa, melyet a Technische Universität München, Épületklimatika és épületgépészet tanszékén elvégzett ClimaDesign Master's Thesis keretében dolgoztam ki 2010-ben. [2]. Az alacsony komplexitású lakóépítészetben eddig kiforrott energiahatékonysági technológia elérése, továbbá az irodaépítészetben felmutatott fenntartható és energiahatékony úttörő megoldások után a „Green Factory” témaköre következő megoldandó tipológiai feladatként mutatkozott, mivel a komplex funkciójú ipari épületek hatékony összrendszerként való kezelésére csak kivételes példákat találni, általános tervezésmegoldási tendencia nélkül. Ez okból az exemplarikus modellezés egy ipari épületre irányult.

2. A kutatás célkitűzése

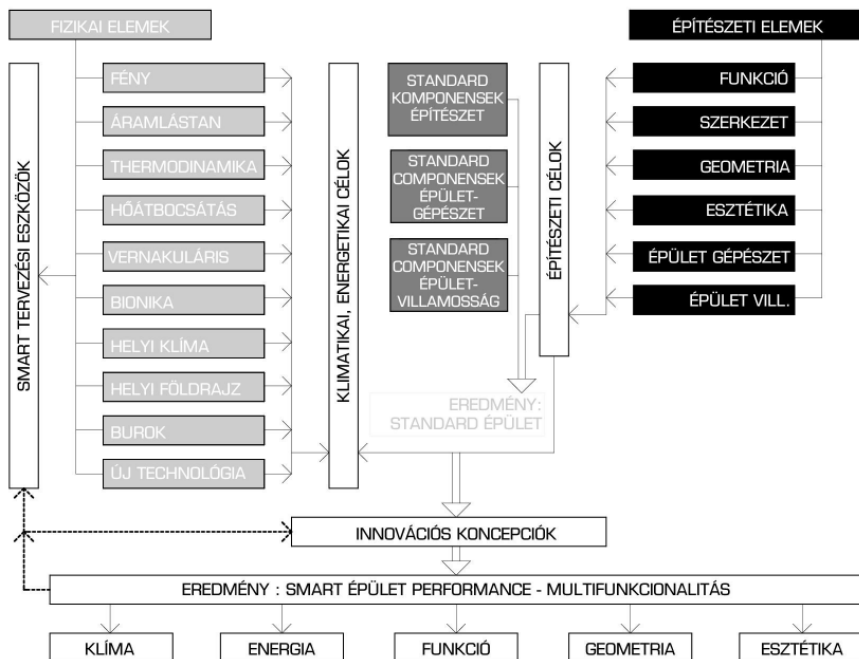
A fentiekben vázolt háttér függvényében célkitűzés az ipari épület példájának elméleti modellezési tanulásaiból kiindulva, azt induktív módon továbbfejlesztve egy speciális smart tervezési módszert kidolgozni, ENERGIA DESIGN néven, általánosan alkalmazható magas energiahatékonyágú, illetve pluszenergia mérleggel rendelkező, intelligensen működő smart épületek és épülettechnológiák tervezésére, fejlesztésére és létrehozására. A továbbiakban ismertetett módszerrel tervezett, fejlesztett és megvalósított pluszenergia potenciállal rendelkező ipari és iroda demonstrációs épület elméleti modelljének számszerűsített komplex igazolása további célkitűzés, mely a tervezési módszert is validálja.

3. Alkalmazott módszerek, eljárások

Ennek a tudományos design módszernek a technikája lényegesen különbözik az építészeti tervezéstől. Alapvető feladata a térszervezésen túlmutat az energiaáramlatok és a térszervezés felé. A funkció, geometria, épületszerkezetek, épületgépészet és -villamosság standard megoldásainak alkalmazása, ill. a standard komponensek összeállítása helyett ez a módszer a kibővített fenntarthatósági célkitűzéseket a fizika természettudományos elveinek bevetésével éri el. Főként a termodinamika, a hőátbocsátás, az áramlás- és fénytechnika törvényeit, a helyi klimatikus és földrajzi adottságokat, valamint vernakuláris és bionikus működési elveket, új épület-, gépészet- és épületburok technológiákat alkalmazok épületek és szerkezetek energetikai és klimatikai céljainak elérésére. Az építészeti és fizikai princípiumok összekomponálása új innovatív multifunkcionális és energiahatékony épület- és szerkezeti koncepciókhoz vezet, melyeket smart eszközökkel, dinamikus szimulációkkal és mérésekkel igazolok és optimalok. Itt történik az átmenet az építészeti tervezés és a természettudományosan megalapozott tervezés, más szóval kutatás között, mivel itt a koncepciók számszerűsített épületfizikai adatokkal lesznek alátámasztva. A koncepciók az épületeknek fokozott energia performance-t biztosítanak, amely multifunkcionalitást jelent: az eredményképpen létrejövő smart épületek és szerkezetek szimultán módon képesek térbeli, funkcionális, klimatikai, energetikai és esztétikai szerepeket ellátni (1. ábra).

Az ENERGIA DESIGN fizikai és építészeti aspektusainak egybefűződése egy többszalon futó épületmodellezési folyamatot generál. A multidimenzionális tervezési procedúra különböző építészettechnológiai, épületklimatikai, -energetikai és –aerodinamikai fejlődési vonalait szisztematikusan struktúrálva az épületmodellezés egy iteratív sémát követ. Legfontosabb mozzanata egy komponáláshoz hasonlítható kemény és puha peremfeltételek között. A kemény

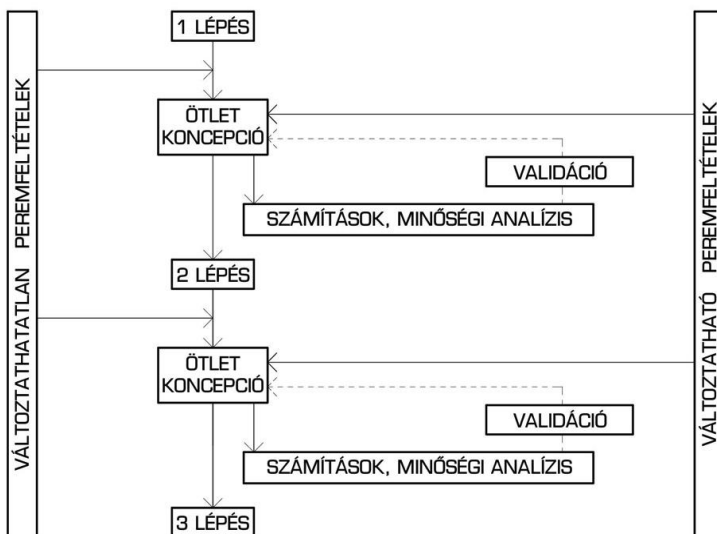
feltételek azok, melyek a tervezést determinálják: előírások, törvények, a külső klíma viszonyok, nem változtatható adottságok.



1. ábra: Speciális kutatási-tervezési módszer: smart design

A puha, változtatható faktorok pedig azok, melyeket a tervező határoz meg: ötletek, koncepciók, működési elvek. A modellezés lépései interakcióban vannak a kemény kritériumokkal, melyekre különböző puha faktorokkal, koncepcionális ötletekkel válaszol. A 2. ábra. mutatja a bal oldali kemény kritériumokat és a jobb oldali puha koncepciókat, melyeket a tervező kvalitatív vagy kvantitatív elemzéssel egyeztet össze, validál és ennek köszönhetően képes következő tervezési lépését megtenni. Minden egyes döntési lépés az „ötlet – számítás/kvalitatív analízis – igazolás“ alapelve szerint történik, az ‘argumentatio logicus’ optimális lekövethetősége végett. Ez az algoritmikus problémamegoldó mátrix egy útleírásnak tekinthető, mely tematikailag több grafikus megjelenített állomásra osztható.

A kifejlesztett modellezési út a feladatállítástól a végeredményig egy log book-hoz hasonlóan rögzítésre kerül, melyben az Energiadesigner tervező döntési lépései mint fejlődési lépcsőfokok, állomások formájában jelennek meg. A nyugtázott design lépések leírása a tervezési folyamat használati utasításaként működik: ENERGIA DESIGN Roadmap-útikalauznak nevezem.



2. ábra: Változhatatlan és változthatató peremfeltételek közötti épülettervezési-komponálási tevékenység algoritmikus döntési lépései, mint egy roadmap-útikalauz állomásai

Az ENERGIA DESIGN tervezéskutatási módszer a

- smart épületfelújítás,
- újonnan létesítendő smart épületek,
- smart épületburok szerkezetek
- és a smart települések, városok és ezek felújításai területén alkalmazható.

Az újonnan létesítendő smart épületek tervezése és megvalósítása összesen négy fázisból áll az ENERGIA DESIGN Roadmap mátrixban (3. ábra):

1. Fázis: Tervezési bázisindikátorok definiálása és a bázismodell kifejlesztése (1. – 6. állomás)
2. Fázis: Épületmodell variánsok tervezése (7. – 10. állomás)
3. Fázis: A kiválasztott elméleti épületmodell kidolgozása (11. – 16. állomás)
4. Fázis: A kidolgozott elméleti épületmodell DEKA (dinamikus energetikai, klimatikai és aerodinamikai) épületszimulációi és az elméleti modell hitelesítése (17. – 20. állomás)
5. Fázis: Épület kivitelezés és az elméleti épületmodell ill. a megvalósult épület DEKA épületszimulációinak validációja mobilis monitoring (MMS - mobile monitoring system) energiamenedzsment mérő és szabályzó rendszerrel (21. – 23. állomás)

A 3. ábra egy smart épület keletkezésének és igazolásának 23 állomásból álló algoritmikusan felépített tervezési folyamat leírását szemlélteti, az ENERGIA DESIGN tervezési-kutatási módszer Roadmap algoritmusát mutatja. A különböző fázisokban az egyes állomások száma és fajtája változhat különböző speciális tervezési feladatok függvényében, ill. a szakmai szükségszerűségeknek megfelelően.

1. Fázis: Tervezési bázisindikátorok definiálása és a bázismodell kifejllesztése (1 – 6 állomás)

A kemény, merev tervezési bázisindikátorok meghatározása, a klimatikai és földrajzi adottságok, a törvények és előírások, szabványok és direktívák komplex peremfeltétel rendszerének összeállítása és analízise a lényegi kiindulópont a további lépésekhez. Az elemzés eredményeit figyelembe véve a tervezési helységprogram alapján egy bázismodell felállítása következik.

2. Fázis: Épületmodell variánsok tervezése (7 – 10 állomás)

A lokálisan adott klimatikai viszonyok függvényében klímastratégiák meghatározása segítségével a bázisépületmodellből több modellvariáns kifejllesztése lehetséges. A variánsok kifejllesztését különböző építészeti absztrakciós koncepciók, ötletek is generálják.

A variánsok közül egy első szelekció keretében (első tervezési szelektív filter) intuíció és szakmai gyakorlati tapasztalat segítségével kb. 4-8 db modellvariáns kerül kiválasztásra.

Egy második összehasonlító analízis nemzeti energetikai törvénynek és szabványoknak megfelelő stacioner épületenergetikai számításokkal minősíti a kiválasztott modelleket. Az energetikai elemzést egy építészeti analízis egészíti ki. Az összesített energetikai- építészeti benchmarking sorrendjét végezve egy döntéstámogató módszer segítségével számítjuk és a variánsok számától függően kb. az első 2-4 modellt szelektáljuk további vizsgálatok számára. Ezek után a kiválasztott épületmodellek dinamikus numerikus bázisszimulációi következnek, szerkezeti és gépészeti alapbeállításokkal egy harmadik tervezési filter keretében. Ennek különös jelentősége van abból a szempontból, melyszerint a korai tervezési fázisokban a dinamikus épületszimulációk energiamegtakarítási potenciálja a legnagyobb. Az energetikai elemzést egy komfort-klimatikai és építészeti analízisrendszer egészíti ki, ahol funkcionális, esztétikai és corporate identity aspektusok is determinálják a kiértékelést. A döntéstámogató módszer alkalmazásával a végső elméleti épületmodell kiválasztására kerül sor.

3. Fázis: A kiválasztott elméleti épületmodell kidolgozása (11 – 16 állomás)

A szelektált elméleti épületmodellt A/V-hányados és kompakt tömegformaalkotás ill. egyéb projektspecifikus (megrendelői igényspecifikus) szempontok alapján továbbfejlesztjük, miután az épületburok rétegtervi meghatározására kerül sor. Tömegforma, funkció, zónázás, épületszerkezetek és -gépészet szintjén egy engedélyezési terv szintű tervezési fázist érek el. A kidolgozott épületmodellhez egy energia-, klíma- és gépészeti koncepciót is tervezek, mely az épület működését üzemeltetését, gépészeti rendszereit és energiaellátását definiálja.

4. Fázis: A kidolgozott elméleti épületmodell DEKA (dinamikus energetikai, klimatikai és aerodinamikai) épületszimulációi és az elméleti modell hitelesítése (17 – 20 állomás)

A hagyományos stacioner számítási gyakorlat lényegesen pontatlanabb analízist szolgáltat az épületek performance-éről, mint a dinamikus szimulációk, melyek napjaink leghatékonyabb analitikus eszközeit képviselik a komplex és fenntartható épített környezet megalkotásához. A dinamikus, az időben folyamatos peremfeltételeket feldolgozó szofverek közelítő numerikus módszerekkel dolgozzák fel a valós környezet komplex modelljeit [3]. Hozzáértő alkalmazásban az épületek viselkedésének porgózisa magasszintű tervezési biztonságot szolgáltat és messzemenően hatékonyabb és ökonómikusabb, mint a későbbi problémamegoldás egy már megvalósított épületben. A szimulációkat jelentős potenciáljuk ellenére egyelőre jellemzően késői tervezési fázisokban, részfeladatok megoldására alkalmazzák, mint a homlokzattervezés, a nyári túlmelegedés veszélyének ellenőrzése, a hűtési energiaigény meghatározása vagy gépészeti rendszerek méretezése.

Az IDA ICE 4 indoor climate and energy dinamikus energetikai és klimatikai épületszimulációs program (vagy egyenértékű) segítségével a végérvényes kidolgozott elméleti épületmodell verzió szimulációs modellezése következik épületszerkezeti paraméterek figyelembevételével. Mindehhez először egy épületklíma-modell leképzése szükséges. A szimulációs modellezést, szerkezeti, gépészeti és matematikai modellezési beállításokat és a nagyszámú változókat integráló számításokat egyéb az IDA szoftverrel egyenértékű programmal is elvégezhetjük. A geometriai és szerkezeti modellezést követően a központi épületgépészeti rendszer definiálása következik a rendszer veszteségeit is figyelembe véve, majd a decentrális zóna-helységek épületgépészeti rendszereit állítjuk be részletesen. A zónákat használó személyek használói profiljainak beállításai a személyek időprogramjait, öltözködési szokásait, tevékenységük fajtáit foglalják magukban, klíma-komforttechnikai beállításokkal egyetemben. A mesterséges világítás rendszerét is modellezni kell, a hulladékhőtermeléssel rendelkező berendezésekkel együtt.

A modellezést és alapbeállításokat különböző üzemeltetési modellebeállítások szimulációinak futtatása követi.

Az épületburok precíz hőhidjainak és hőveszteségeinek megadása, egyben a precíz energetikai-klimatikai épületszimulációk elérése céljából, kapcsolt dinamikus numerikus energetikai-klimatikai és hőáramlási épületszimulációkat alkalmazok: az épületburok épületszekezeti hőhidjainak és hőveszteségeinek szimulációja HEAT 2 és 3 dinamikus numerikus hőáramlási (vagy műszakilag egyenértékű) szoftverrel történik, majd az eredményeket az IDA ICE (vagy egyenértékű) dinamikus numerikus energetikai-klimatikai épületszimulációs modellbe integrálom.

A szellőző koncepció hatékonyságának vizsgálata és bizonyítása érdekében kapcsolt dinamikus numerikus energetikai-klimatikai és aerodinamikai épületszimulációkat alkalmazok: az épületaerodinamikai, CFD (computational fluid dynamics) numerikus áramlási szimulációk az ANSYS FLUENT vagy egyenértékű szoftverrel, illetve opcionális szélcsatornatesztek elvégzésével történik, melyek eredményeit az IDA ICE (vagy egyenértékű) dinamikus numerikus energetikai-klimatikai épületszimulációs modellbe integrálom.

Az épületburok felületein fellépő szélintenzitástól és széliránytól függő nyomássegíthetők szimulációi CFD szimulációkkal és opcionális szélcsatorna mérésekkel történnek, mely eredmények integrációjával az IDA ICE (vagy egyenértékű) dinamikus numerikus energetikai-klimatikai épületszimulációs modellben az épületburok precíz szélnyomás együtthatóit lehet megadni, a precíz energetikai-klimatikai épületszimulációk elérése céljából.

Az optimalizációs megoldások feltérképezése további szimulációs sorozat segítségével történik: különböző modellvariánsokban az árnyékoló szerkezetek, hőszigetelések, üvegezések, üvegezési arányok valamint szellőzőszerkezet és szellőzőkoncepció variánsok hatásait tárom fel energetikai és klimatikai szempontból.

Az engedélyezési tervdokumentáció procedurája után a kiviteli tervezés folyamán a pallérterv tipikus pontosításaiból adódó változásokat a szimulációkkal lekövetem. Az engedélyezési és a kiviteli terv szimulációs eredmények összehasonlító analíziséből a terv fejlődésének hatásait lehet lemérni. A dinamikus szimulációk mellett az épület törvényben előírt energetikai tanúsítást is elvégzem, ezek eredményeit a szimulációkkal összevetem, és következtetéseket nyerek az eltérésekből, ill. hasonlóságokból. A nyert ismerethalmaz segítségével az energetikai számítások módszerét lehet fejleszteni, pontosítani, különösen a nyári túlmelegedés, a belső komfort-klíma, az épülethűtés és a regeneratív energiaforrások hasznosításának terén, ill. egyéb energetikai területeken.

5. Fázis: Épület kivitelezés és az elméleti épületmodell ill. a megvalósult épület DEKA épületszimulációinak validációja mobilis monitoring (MMS - mobile monitoring system) energiamedzsent mérő és szabályzó rendszerrel (21 – 23 állomás)

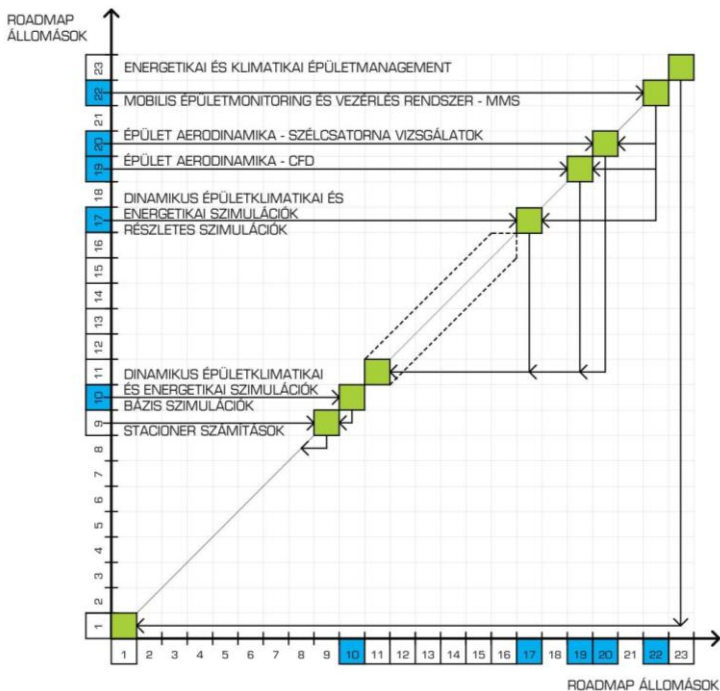
A speciális ENERGIA DESIGN Roadmap módszerrel tervezett épületek ebben az utolsó fázisban kerülnek kivitelezésre. Épületfunkció és komplexitás függvényében az első megvalósult épületek referencia értékűek, mely demonstrációs és referenciaépületek esetében monitoring mérő-vezérlő validációra van szükség, az épület energetikai és klimatikai tulajdonságainak bizonyításához.

Egy mobilis monitoring (MMS - mobile management system) energiamedzsent mérő és szabályzó rendszer segítségével nem csak nagy felbontású épületklimatikai -energetikai és -aerodinamikai mérésadatgyűjtés biztosított, hanem pontosan lehet vezérelni is az épületet. A referencia épület(ek)ben demonstrációs kutatási projekt keretében egy hosszútávú, többéves épületvezérlő és -monitoring program megvalósítása és kiértékelése történik, teljeskörű működés és használat alatt lévő épületben. A monitoring hitelesíteni tudja a pluszenergia performance-t, az épületklimatikai minőséget, a DEKA szimulációkat ill. az opcionális szélcsatorna méréseket. Az épületmonitoring segítségével a megvalósult referenciaépület(ek) teljesítménye mellett, a speciális módszerrel létrehozott hipotetikus épületmodell, annak építészeti, szerkezeti, klimatikai, gépészeti és energiaellátási koncepciói, továbbá az ENERGIA DESIGN kutatás-tervezési módszer is végső validáció alá kerül.

A szimulációk eredményeinek és az épületfelügyelet ill. monitoring valós mérési adatainak iteratív összehasonlításával illetve az eredmények egyáshoz való közelítésével első lépésben a szimulációs technikát kalibrálok maximális pontosságú szintre. Ezek után a legenergiahatékonyabb teszüzem koncepció szimulációs eredményei alapján a valós épületüzemeltetést és -automatikát állítok be a referenciaépület MMS rendszerében optimalizációs céllal, majd finomhangolást végzek az üzemrendszeren. A kutatás lezártaival, a megszülető új ismerethalmaz segítségével egy magasfokú, nagyfelbontású és maximális pontosságú kalibrált DEKA épületszimulációs know-how-ra lehet szert tenni. Egy bizonyos épületfunkció esetében, ha az első, referencia épület esetén monitoring validációja már megtörtént akkor a további azonos funkciójú tervezett és megvalósított épületeknek már csak kivételes speciális esetekben van szüksége monitoring validációra. Általában későbbi azonos funkciójú épületekben költségintenzív, komplex épületmonitoring és kontroll rendszerre (épületfelügyelet) már nincs szükség (csak minimális épületfelügyeletre lesz szükség), a monitorozott első smart épület, mint demonstrációs referenciaépület eredményeinek és az ebből levont ismeret- és tudásanyagának köszönhetően.

További előny, hogy igazolt szimulációs modell felhasználásával új innovatív épület-, klíma-, gépészeti és energiakoncepciók fejlesztése válik lehetővé, kutatás-fejlesztési programok keretében.

Figyelembe véve a tényt, hogy a legtöbb energiahatékony megvalósult épület esetében, a tervezés és kivitelezés, esetleg szimulációk után az üzemeltetés az összesített fűtés-hűtés, villamosáram és vízfogyasztás havi leolvasásából áll, egyenes következmény, hogy az elméleti innovatív eredmények az üzemeltetési gyakorlatban a legtöbb esetben nem igazolódnak be. Mindezen negatívumokat fokozza az alacsony színvonalú kivitelezési minőségbiztosítás. A többéves kutatási szimulációs és mérési eredmények adatbázisából ezért olyan energiamenedzsementet szándékozom indktív módon kifejleszteni, melyből a jövő smart épületei számára tervezési, szimulációs és üzemeltetési kézikönyvet lehet összeállítani.



4. ábra: Épületek, települések és szerkezetek koncepciójainak verifikációjához és optimalizációjához szükséges smart tervezési eszközök

Összegzően az ENERGIA DESIGN többdimenziós tervezési-kutatási módszer iteratív és interdiszciplináris folyamatának alapvető specialitása az építészeti tervezésből való átmenet a tudományos kutatási tervezésbe. Lényege a smart

épületek, települések, épületfelújítások és klímaszerkezetek innovatív koncepciójainak smart eszközökkel történő számszerűsített visszaigazolása (4. ábra). A dinamikus fény-, energia-, klíma-, CFD és szélesatrona szimulációkkal, ill. monitoring mérésadatgyűjtő és vezérlő vizsgálatokkal a szimulációk kalibrálása mellett a smart házakat, településeket, szerkezeteket ill. tervezést lehet optimalni, megtámogatni és validálni. Ez a kutatás-tervezési tevékenység és know-how precíz analitikus képességek és kreatív tervezői tehetség szintézisét igényli.

4. Új tudományos eredmények

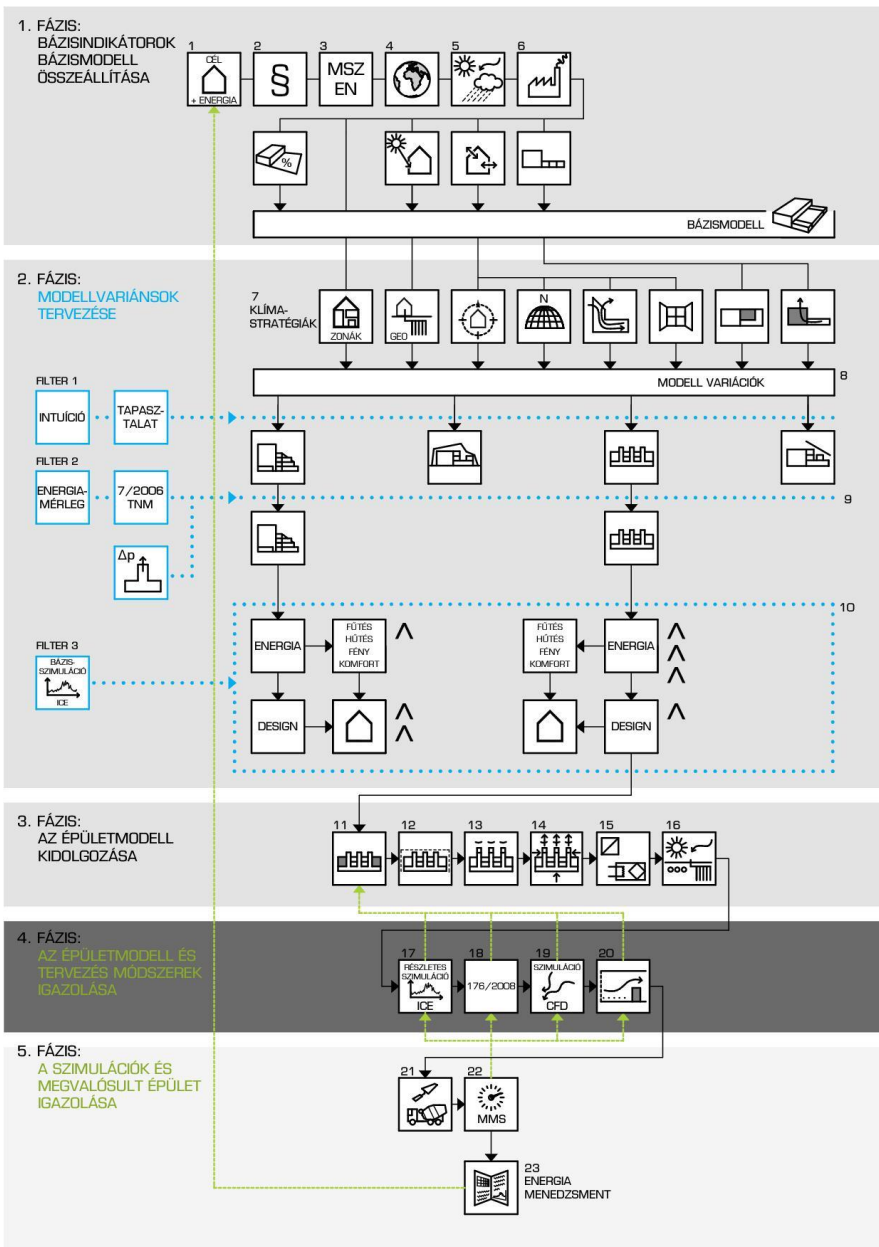
4.1 1. Tézis

Az általam kifejlesztett ENERGIA DESIGN épülettervezési algoritmust alkalmazva (3. ábra) kidolgoztam a tézisfüzet „1. Előzmények” fejezetben leírt ipari és irodaépület új tervezési folyamatát (5. ábra). A tervezési Roadmap mátrix 1. fázisa a a Technische Universität München, Épületklimatika és épületgépészet tanszékén elvégzett ClimaDesign Master’s Thesis keretében kidolgozott exemplarikus ipari épület Roadmap megoldásából indul ki, majd a 2. fázistól új, továbbfejlesztett rendszerben folytatódik a 3. és 4. fázisokon keresztül egy 5. kiegészítő fázissal bővülve, melyben az épület kivitelezése és monitoring vizsgálatai, validációja zárja a tervezési-kutatási módszer lépésláncolatát. A módszer segítségével egy pluszenergia mérleggel rendelkező ipari és irodaépület modellje született.

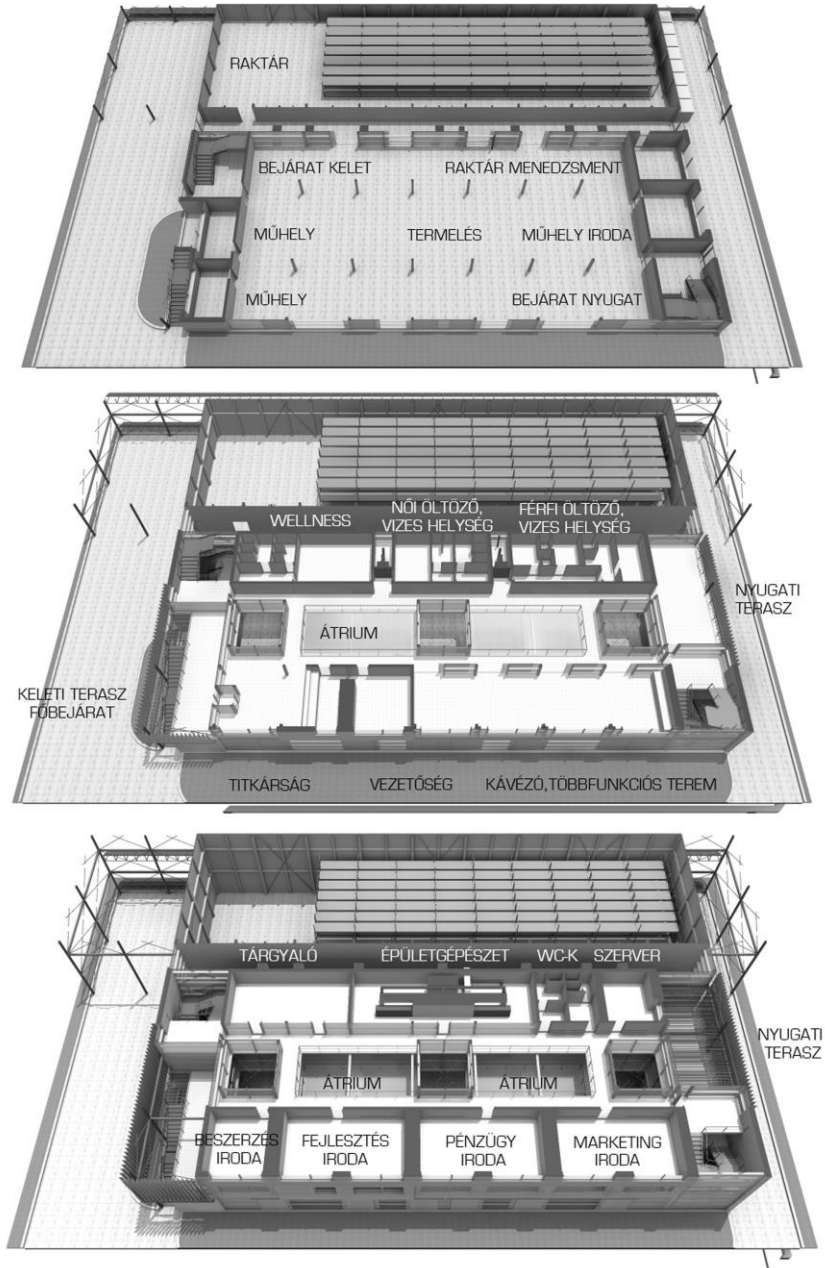
- A Roadmap mátrix 1. – 4. fázisa alapján egy Komló határában elhelyezkedő építési telken egy 2500 m² hasznos alapterületű raktárt, termelőcsarnokot, műhelyeket, irodákat, többcélú termet (étkezőt) és a szükséges öltözőket, szociális helységeket magába foglaló műanyag járműalkatrészeket gyártó üzem és irodakomplexum engedélyezési terv szintű épületmodelljét kifejlesztettem és megterveztem.
- A ClimaDesign Master’s Thesis épület első tervezési szelekción átengedett tervvariánsait az új 2. Roadmap fázisban a 7/2006 TNM rendelet előírásai alapján stacioner épületenergetikai számítások alá vettem (második összehasonlító analízis), az eredményeket pedig egy döntéstámogató eljárás segítségével kiértékeltem. A különböző energetikai és építészeti paraméterek összesítésének eredményeképpen, a két legmagasabb színvonalú épületmodellt választottam ki.
- A két modellt ezután dinamikus energetikai bázisszimulációk keretében vizsgáltam tovább, majd az eredményeket egy az előzőnél komplexebb döntéstámogató eljárás segítségével energetikai és építészeti szempontból kiértékeltem ki. Az energetikai és építészeti elemzés eredményeképpen

kiválasztott magasabb színvonalú épületmodell egyezik a ClimaDesign Master's Thesis épületmodell eredményével (6.–7. ábra).

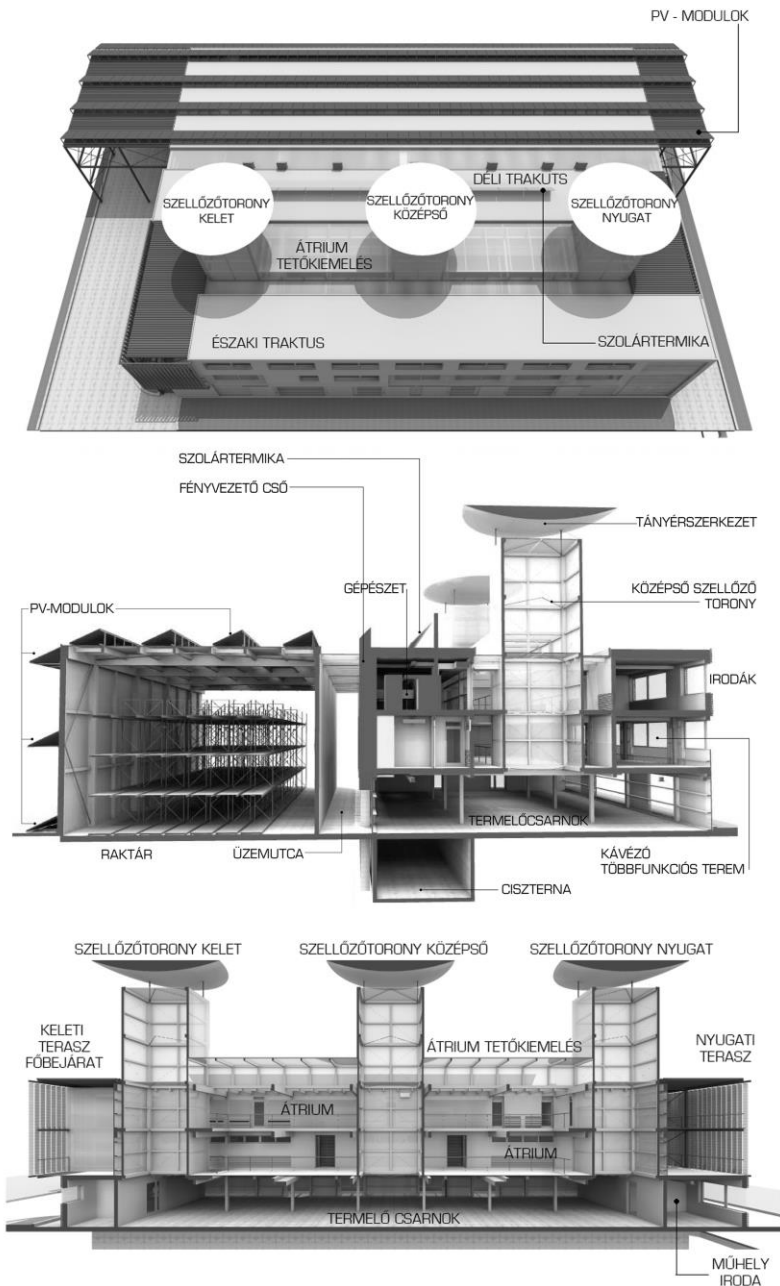
- A kiválasztott épület klímamodelljét a 3. fázisban állítottam össze a következő alrendszerek együttes közreműködésével: az épület geometriai tömegformálása, az épület klímazóna rendszerének működése, az épület-szerkezetek és anyagválasztás megoldásai, az épületburok üvegezési aránya, az épületburok árnyékolástechnikája, valamint a klíma-, gépészeti és energiaellátási koncepció szezonális üzemeltetési ütemekben, természetes és mesterséges szellőzési rendszer (8.-9. ábra), fűtési és hűtési rendszer, természetes és mesterséges megvilágítási rendszer.



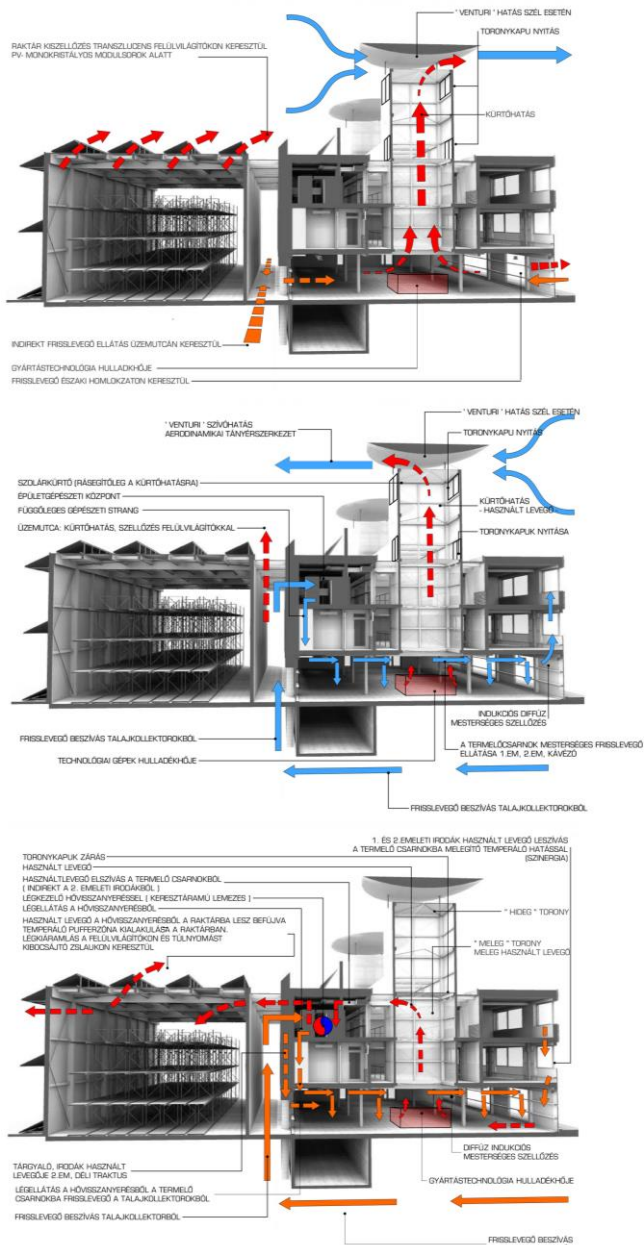
5. ábra: Az ipari és irodaépület tervezési és monitoring ENERGIA DESIGN Roadmap mátrixa



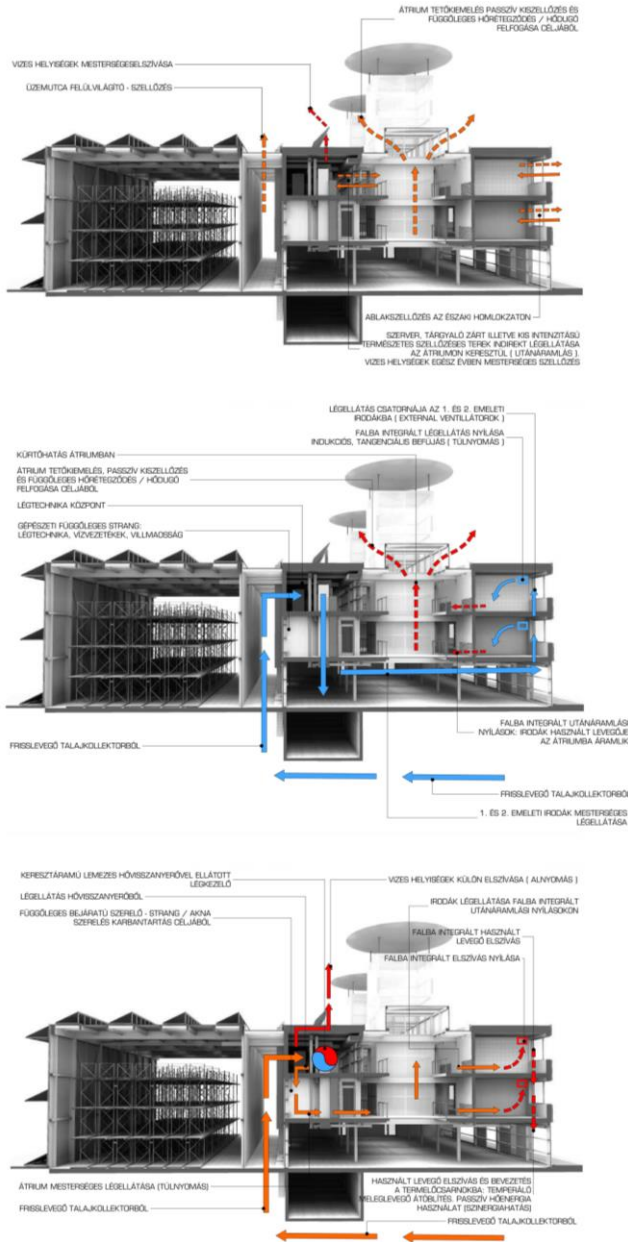
6. ábra: Az ipari és irodaépület funkcionális elrendezése



7. ábra: Az ipari és irodaépület tömegformálása és hossz-, illetve keresztmetszetei



8. ábra: Az ipari és irodaépület mesterséges és természetes szellőzési rendszere – termelőcsarnok. Átmeneti szezon (fent), fűtési időszak (középen), hűtési periódus (lent).



9. ábra: Az ipari és irodaépület mesterséges és természetes szellőzése – átrium, irodák, vizes helységek. Átmeneti szezon (fent), fűtési időszak (középen), hűtési periódus (lent).

Kapcsolódó publikáció:

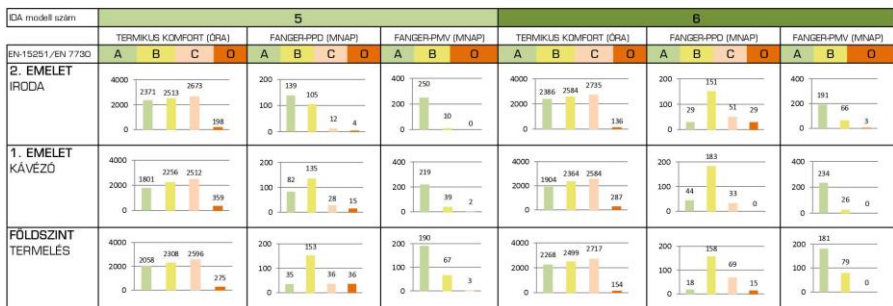
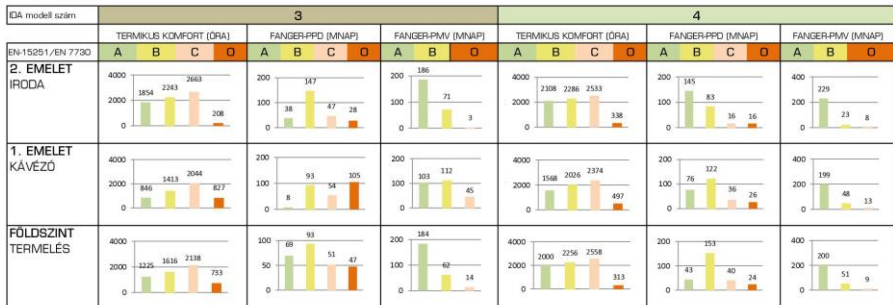
- 2013.05. Baranyai Bálint, Póth Bálint, ifj. Kistelegdi István: Energiadesign – Polydimenzionális tervezési-kutatási módszer, In: Buday-Sántha Attila, Danka Sándor, Komlósi Éva (szerk.) Régiók fejlesztése 2013/1-3: 2013/1 tanulmánykötetben 80-92. o. (ISBN:978-963-642-529-6), Konferencia helye, ideje: Pécs, PTE 2013.05.23-24.
- Bálint Baranyai, 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). 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). Befogadva.
- 2013.05. 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.
- Kistelegdi István: Puszenergia potenciál egy ipari és iroda épületben, kiadó: Pécsi Tudományegyetem, 2013, lektorálta: Bodrossy Attila DLA

4.2. 2. Tézis

Többlépcsős részletes dinamikus numerikus energetikai és klimatikai szimulációs eljárást dolgoztam ki (Roadmap mátrix 4. fázisa), mely segítségével az ENERGIA DESIGN Roadmap tervezési mátrix 1.-3. fázisa alapján kifejlesztett ipari és irodaépület modelljének energiamérlegét és klimatikai karakterét számszerűsítettem és igazoltam.

- A komplex multiklíma zónákból álló dinamikus szimulációs épületmodellt megépítettem.
- Többlépcsős, dinamikus numerikus energetikai és klimatikai szimulációs eljárást dolgoztam ki, mely keretében hat szisztematikusan egymásra épülő, különböző épületgépészeti és szellőzési beállítást alkalmazva egyéves üzemidőszakok és üzemmódok szimulációs számításait végeztem. Az 1-3-as számú modellekben alapszimulációkat, a 4-6-os számú modellekben kombinált szimulációkat állítottam be.
- Az 1-es számú modellt egész éves mesterséges szellőzéssel, hagyományos helységenkénti be- és elszívással, valamint felületi sugárzó fűtési és hűtési hőátadó rendszerrel állítottam be.

- A 2-es számú modellt egész éves mesterséges szellőzéssel, a klímakonceptió függvényében komplex, direkt és indirekt helységeket átöblítő légtechnikai rendszerrel, továbbá az 1-es modellel azonos fűtési és hűtési rendszerrel generáltam.
- A 3-as számú modellt kizárólag természetes szellőzéssel működtettem, az 1-es számú modellel azonos fűtési és hűtési rendszer megtartásával. Az ablakok lökészerű szellőzéssel a fűtési időszakban, buktatott állással az átmeneti évszakokban, és a hűtési időben nappal szakaszosan, éjszaka pedig folyamatos nyitással szellőztek.
- A 4-es számú modellt, a 2-es számú modell légtechnikai beállításait és a 3-as számú modell módosított természetes szellőzési beállításait kombináltam. A különböző üzemeltetési szezonokban csökkentett természetes és ennek megfelelő növelt légtechnikai szellőzést alkalmaztam.
- Az 5-ös számú modellben a problematikus természetes szellőzés mértékét finomítottam tovább a gépi szellőzés javára.
- A 6-os számú modellben elértem az 5-ös modellben elkezdett finombeállítások határát, melyel kielégítő klimatikai és energetikai teljesítményértékeket lehetett elérni. Az épületmodell komfort-klimatikai szempontból megfelelő eredményeket produkált (10. ábra) ahhoz, hogy az energetikai karakterisztikát vizsgálni lehessen (11. ábra).
- A három starégiailag tipikus referencia helységzóna kiértékelésével minősítettem az épület klímakarakterét, operatív hőmérséklet alapján termikus osztályba sorolás, valamint PPD és PMV indexek függvényében. [4] A termőcsarnokban, a kávézó-többcélú teremben és a 2. emeleti irodában a termikus osztályozás az A, B és C kategóriái között egyenletesen oszlott el, míg a PPD prognosztizált elégedetlenek száma karakterisztikusan B kategóriát, a PMV hőérzeti tényező pedig tipikusan A kategóriát mutatott. A modell klimatikai komfortkaraktere a szabványok szerint minőségileg megfelelő.
- A 11.-12. ábrán a modellek primérenergia mérlegében fűtés, hűtés és a mesterséges szellőzési rendszer ventilátoros üzemeltetésének fogyasztása különbözik egymástól, mivel a modellekben azonos termikus és fotovillamos rendszerek, továbbá a termelés- és irodatechnológia identikus gépi berendezései azonos energiafogyasztási értékeket mutatnak.
- Az épület összes primérenergia fogyasztása a technológiai berendezésekkel együttesen 274387,5 kWh/a, illetve 101,71 kWh/m²a.
- A légtechnika hővisszanyeréséből és a szoláris rendszerek továbbá a geotermikus talajkollektor megújuló primérenergia megtakarítása, illetve energiatermelése 302495,77 kWh/a és 112,13 kWh/m²a. [5] Az összesített energiamérleg 28108,27 kWh/a és 10,42 kWh/m²a pluszenergia termelést jelent, 8914,77 kg/a és 3,3 kg/m²a CO₂-megtakarítással egyetemben.

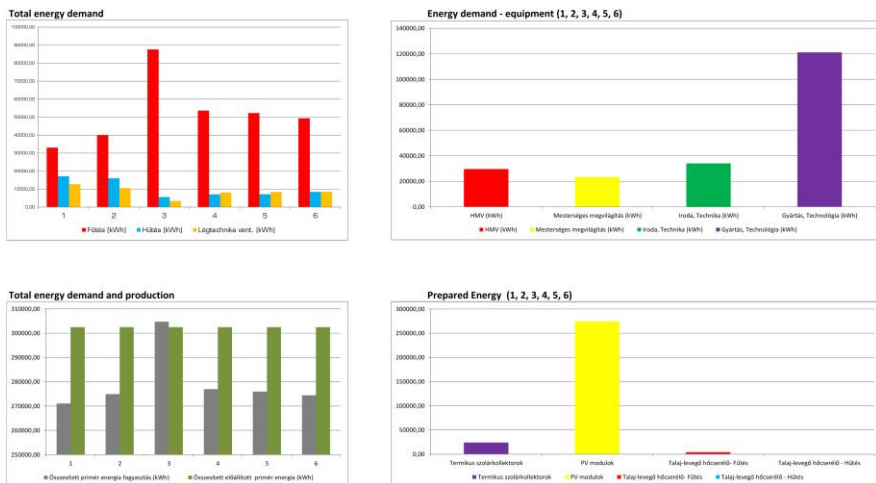


JELMAGYARÁZAT:			
	TERMIKUS KÖMFORT	FANGER-PPD	FANGER-PMV
A	LEGJOBB (21-25°C)	KISEBB, MINT 6%	KISEBB, MINT ±0,5
B	JÓ (A ±1,0°C)	6 - 10%	±0,5 KÖZÖTT ±1,0
C	ELFOGADHATÓ (B ±2,0°C)	10 - 15%	-
D	ROSSZ (egyéb)	15% FÖLÖTT	±1,0 FÖLÖTT

10. ábra: A dinamikus numerikus épületszimulációk kiértékelt klimatikai eredményei a 3 referenciahelységben

BÁTI - Primary ENERGY		IDA model number				
	1	2	3	4	5	6
AHU full year operation						
AHU summer operation						
AHU winter operation						
Windows opening summer						
Windows opening winter						
Windows opening transition period						
Heating operation						
Cooling operation						
Reas (kWh)	3350.00	4017.50	87575.00	53677.50	52242.50	49920.00
RHases (kWh)	17182.50	16060.00	5635.00	7045.00	7142.50	8435.00
HVAC (kWh)	12720.00	10610.00	3882.50	8112.50	8420.00	8495.00
Primary energy demand, HCHHVAC (kWh)	62932.50	66787.50	96592.50	68895.00	67805.00	66500.00
Primary energy demand, HCHHVAC (kWh/m ²)	23.33	24.76	35.80	25.52	25.13	24.56
RAU (kWh)	29630.00	29630.00	29630.00	29630.00	29630.00	29630.00
Magtűzűzés (kWh)	23352.50	23352.50	23352.50	23352.50	23352.50	23352.50
Elektronos berendezések, módos (kWh)	34027.50	34027.50	34027.50	34027.50	34027.50	34027.50
Elektronos berendezések, áramlás (kWh)	161167.50	161167.50	161167.50	161167.50	161167.50	161167.50
Primary energy demand, Equipment (kWh)	208137.50	208137.50	208137.50	208137.50	208137.50	208137.50
Primary energy demand, Equipment (kWh/m ²)	77.15	77.15	77.15	77.15	77.15	77.15
Total Primary energy demand (kWh)	271070.00	274995.00	304300.00	276929.50	275942.50	274387.50
Total Primary energy demand (kWh/m ²)	100.48	101.81	112.96	102.67	102.88	101.71
Prepared Primary energy						
Solar collectors	24000.30	24000.30	24000.30	24000.30	24000.30	24000.30
PV panels	274375.00	274375.00	274375.00	274375.00	274375.00	274375.00
Air-Earth heat exchanger - Heating	3896.89	3896.89	3896.89	3896.89	3896.89	3896.89
Air-Earth heat exchanger - Cooling	223.58	223.58	223.58	223.58	223.58	223.58
Total Prepared Primary energy (kWh)	302495.77	302495.77	302495.77	302495.77	302495.77	302495.77
Total Prepared Primary energy (kWh/m ²)	112.13	112.13	112.13	112.13	112.13	112.13
Primary energy balance (kWh)	-31485.77	-27570.77	2634.23	-25593.27	-26553.27	-28106.27
Primary energy balance (kWh/m ²)	-11.65	-10.22	0.83	-9.46	-9.84	-10.42
CO ₂ emission reduction(kg)	-9586.94	-8744.30	708.60	-8094.92	-8421.59	-8914.77
CO ₂ emission reduction(kg/m ²)	-3.69	-3.24	0.26	-3.00	-3.12	-3.30

11. ábra: A dinamikus numerikus épületszimulációk kiértékelte eredményei



12. ábra: A dinamikus numerikus épületszimulációk kiértékelt diagrammjai

4.3. 3. Tézis

Az építési engedélyezési terv szintű épületmodell épületburok szerkezetére hőtechnikai pontosítási technikát és optimalizációs fejlesztési megoldásokat dolgoztam ki (Roadmap mátrix 4. fázisa).

A szimulációs modellben épületszerkezeti egyszerűsítésekre volt szükség annak érdekében, hogy a szimulációs számítások kapacitásigénye ne növekedjen jelentősen. Az ennek a megoldásnak köszönhető szimulációs pontatlanság kiküszöböléséhez kidolgoztam egy hőhidasságot integráló megoldást, mely segítségével a 6-os számú szimulációs modell geometriai egyszerűsítéseit hőtechnikailag a reális geometriai megoldásokhoz lehet igazítani.

- Kapcsolt tranziens hőtechnikai épületszerkezet szimulációk segítségével a valóságban komplexebb épületszerkezeti csomópont hőhidasságából adódó hőtechnikai értékeket korrekciós tényezőkké generáltam, majd extra hőveszteségek formájában integráltam a dinamikus numerikus energetikai és klimatikai épületszimulációk beállításába.
- A 6-os számú modell eredeti 274387,5 kWh/a, illetve 101,71 kWh/m²a priménergia fogyasztásával szemben a 6/4-es számú hőhidas modell 277092,5 kWh/a, illetve 102,71 kWh/m²a (14. ábra) módosított fajlagos priménergia fogyasztást eredményezett.

A 6-os számú modell, mint referenciamodell épületburok szerkezetére optimalizációs alternatívákat dolgoztam ki, a leghatékonyabb megoldás azonosítása céljából. Az épületburok optimalizáció hatását az energetikai és

klimatikai szimulációk alkalmazásával számszerűsítettem. A modell hat verzióit a 13. és 14. ábra elemzi:

- a 6-os számú referenciamodell 2 rétegű hőszigetelő üvegezéssel (az északi homlokzatban $U_{\text{üveg2,észak}} = 1 \text{ W/m}^2\text{K}$, $T_{\text{üveg2,észak}} = 0,75$, $g_{\text{üveg2,észak}} = 0,6$, a keleti és nyugati homlokzatban $U_{\text{üveg2,kelet-nyugat}} = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$, $T_{\text{üveg2,kelet-nyugat}} = 0,6$, $g_{\text{üveg2,kelet-nyugat}} = 0,3$), illetve polycarbonat szerkezetekkel rendelkezik ($U_{\text{poly}} = 1,45 \text{ W/m}^2\text{K}$, tetőszerkezetben $T_{\text{poly,tető}} = 0,33$, $g_{\text{poly,tető}} = 0,36$, falszerkezetben $T_{\text{poly,fal}} = 0,36$, $g_{\text{poly,fal}} = 0,39$), továbbá belső átrium tető árnyékolással ($g_{\text{poly-belső árny}} = 0,234$), 20 cm vastagságú külső hőszigeteléssel az opak bukoszerkezeteken ($U_{\text{fal 20 hőszig}} = 0,1506 \text{ W/m}^2\text{K}$), és 30 cm vastagságú hőszigeteléssel a lapos tetőszerkezeteken ($U_{\text{Tető}} = 0,172 \text{ W/m}^2\text{K}$) készült.
- a 6/1-es számú modellben az eredeti 2 rétegű üvegezést 3 rétegű standard hőszigetelő üvegezésre ($U_{\text{üveg3}} = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$, $T_{\text{üveg3}} = 0,41$, $g_{\text{üveg3}} = 0,49$), a polycarbonat szerkezetet pedig 2 rétegű hőszigetelő üvegezésre cseréltem ($U_{\text{üveg2}} = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$, $T_{\text{üveg2}} = 0,52$, $g_{\text{üveg2}} = 0,59$).
- a 6/2-es számú modellben a 6/1-es számú modell belső átrium árnyékolását külső árnyékolásra cseréltem ($g_{\text{poly-külső árny}} = 0,0826$).
- a 6/3-as számú modellben a 6-os számú referenciamodell 40 cm külső hőszigeteléssel láttam el ($U_{\text{fal 40 hőszig}} = 0,08093 \text{ W/m}^2\text{K}$).
- a 6/4-es számú modell a hőtechnikailag pontosított 6-os számú referenciamodell futtatása.
- a 6/5-ös számú modellben a 6-os számú modell belső átrium árnyékolását külső árnyékolásra cseréltem.
- 6/6-os modellben az üvegezés, árnyékolás és hőszigetelés optimalizációit egyszerre alkalmaztam.
- A modellvariánsokban épületklimatikai komfortérzet szempontjából (13. ábra) minimális, de általános javulási tendencia olvasható le mind az operatív hőmérsékletből adódó termikus kategóriák (A, B, C, D), mind a PPD és PMV indexek értékeiben. Jelentős pozitív változás jelentkezik a 2. emeleti iroda referenciahelységben és az 1. emeleti kávézó – többcélú teremben a várható elégedetlen helységhasználók számának csökkenése végett, ahol a PPD-index A kategóriája a 6 optimalizációs modell irodáiban átlagosan 78%-al, a kávézó helységben átlagosan 58%-al javult.
- Az energetika tekintetében a modellek közül a 6/2-es számú modell a leghatékonyabb, - energiafogyasztása a legalacsonyabb: 263900 kWh/a és 97,82 kWh/m²a, mely az eredeti 6-os számú modell 274387,5 kWh/a, illetve 101,71 kWh/m²a fogyasztással szemben közel 10000 kWh/a és közel 4 kWh/m²a fogyasztásmegtakarítást, jelent (14. ábra).

IDA modell szám	6/1						6/2												
	TERMIKUS KOMFORT (ÓRA)				FANGER+PPD (MNAP)		FANGER+PMV (MNAP)		TERMIKUS KOMFORT (ÓRA)				FANGER+PPD (MNAP)		FANGER+PMV (MNAP)				
EN-15251/EN 2730	A	B	C	O	A	B	C	O	A	B	O	A	B	C	O	A	B	C	O
2. EMELET IRODA	4000 2331 2570 2736 355	200 108 115 35 2	400 225 35 0	4000 2284 2594 2755 116	200 125 108 24 3	400 235 25 0													
1. EMELET KÁVEZO	4000 2250 2440 2620 251	200 134 94 29 3	400 230 30 0	4000 2244 2461 2622 239	200 147 88 23 2	400 237 23 0													
FÖLDSZINT TERMELES	4000 2332 2601 2753 118	200 124 93 8 35	200 141 118 1	4000 2207 2562 2748 133	200 135 81 9 35	200 348 111 1													
IDA modell szám	6/3						6/4												
EN-15251/EN 2730	TERMIKUS KOMFORT (ÓRA)				FANGER+PPD (MNAP)		FANGER+PMV (MNAP)		TERMIKUS KOMFORT (ÓRA)				FANGER+PPD (MNAP)		FANGER+PMV (MNAP)				
2. EMELET IRODA	A	B	C	O	A	B	C	O	A	B	O	A	B	C	O	A	B	C	O
2. EMELET IRODA	4000 2370 2569 2723 148	200 122 107 30 1	400 232 28 0	4000 2361 2557 2716 155	200 142 92 23 3	400 236 24 0													
1. EMELET KÁVEZO	4000 2023 2360 2577 294	200 113 119 26 2	400 233 27 0	4000 1872 2359 2581 290	200 110 127 22 1	400 237 23 0													
FÖLDSZINT TERMELES	4000 2425 2604 2747 124	200 135 65 15 25	200 175 84 1	4000 2264 2498 2717 154	200 158 70 15 17	200 178 81 1													
IDA modell szám	6/5						6/6												
EN-15251/EN 2730	TERMIKUS KOMFORT (ÓRA)				FANGER+PPD (MNAP)		FANGER+PMV (MNAP)		THERMAL COMFORT (HOUR)				FANGER+PPD (MNAP)		FANGER+PMV (MNAP)				
2. EMELET IRODA	A	B	C	O	A	B	C	O	A	B	O	A	B	C	O	A	B	C	O
2. EMELET IRODA	4000 2390 2582 2735 136	200 138 98 22 2	400 237 23 0	4000 2355 2575 2745 126	200 132 103 22 3	400 236 24 0													
1. EMELET KÁVEZO	4000 1877 2358 2582 289	200 112 125 22 1	400 238 22 0	4000 2021 2433 2635 236	200 117 117 24 2	400 235 25 0													
FÖLDSZINT TERMELES	4000 2265 2497 2717 154	200 138 70 15 17	200 178 81 1	4000 2236 2555 2752 119	200 145 75 10 30	200 160 99 1													
IDA modell szám	6						JELMAGYARÁZAT:												
EN-15251/EN 2730	TERMIKUS KOMFORT (ÓRA)				FANGER+PPD (MNAP)		FANGER+PMV (MNAP)		TERMIKUS KOMFORT	FANGER+PPD	FANGER+PMV								
2. EMELET IRODA	A	B	C	O	A	B	C	O	A	LEG. JOBB (21-25°C)	KISEBB, MINT 6%	KISEBB, MINT ±0,5							
2. EMELET IRODA	4000 2386 2384 2735 136	200 151 29 29	400 351 66 3	4000 1904 2364 2584 287	200 183 44 33	400 234 26 0	B	JÓ (A ±1,0°C)	6 - 10%	±0,5 KÖZÖTT ±1,0									
1. EMELET KÁVEZO	4000 1904 2364 2584 287	200 183 44 33	400 234 26 0	C	ELFOGADHATÓ (B ±2,0°C)	10 - 15%	-												
FÖLDSZINT TERMELES	4000 2268 2499 2717 154	200 138 69 18 15	200 181 79 0	O	ROSSZ (egyéb)	15% FÖLÖTT	±1,0 FÖLÖTT												

13. ábra: A dinamikus numerikus épületszimulációk kiértékelt klimatikai eredményei a 3 referenciahelységben (szerkezeti optimalizációk)

RATI - Primer ENERGIA		6		6/1		6/2		6/3		6/4		6/5		6/6	
IDA modell szám															
	Légtéchnika üzemmód - egész év														
	Légtéchnika üzemmód - nyár														
	Légtéchnika üzemmód - tél														
	Természetes szellőzés - nyár														
	Természetes szellőzés - tél														
	Természetes szellőzés - érméleti időszak														
	Fűtési üzem														
	Hűtési üzem														
	Fűtés (kWh)	48380,00	35317,50	35947,50	48582,50	58103,50	48792,50	48792,50	58103,50	48792,50	48792,50	48792,50	48792,50	48792,50	48792,50
	Hűtés (kWh)	8495,00	12157,50	11340,00	8812,50	8342,50	8275,00	8275,00	8342,50	8275,00	8275,00	8275,00	8275,00	8275,00	8275,00
	Légtéchnika vert. (kWh)	8495,00	8630,00	8475,00	8635,00	8510,00	8495,00	8495,00	8510,00	8495,00	8495,00	8495,00	8495,00	8495,00	8495,00
	Primer energia fogyasztás, H-C+HVAC (kWh)	68250,00	56105,00	55762,50	66030,00	68965,00	66560,00	66560,00	68965,00	66560,00	66560,00	66560,00	66560,00	66560,00	66560,00
	Primer energia fogyasztás, H-C+HVAC (kWh/m ²)	24,56	20,80	20,67	24,48	25,56	24,67	24,67	25,56	24,67	24,67	24,67	24,67	24,67	24,67
	HVAC (kWh)	28630,00	29630,00	28630,00	29630,00	28630,00	29630,00	29630,00	28630,00	29630,00	29630,00	29630,00	29630,00	29630,00	29630,00
	Mesterséges megvilágítás (kWh)	23352,50	23352,50	23352,50	23352,50	23352,50	23352,50	23352,50	23352,50	23352,50	23352,50	23352,50	23352,50	23352,50	23352,50
	Indu. Technika (kWh)	34027,50	34027,50	34027,50	34027,50	34027,50	34027,50	34027,50	34027,50	34027,50	34027,50	34027,50	34027,50	34027,50	34027,50
	Gérsz. Technológia (kWh)	121127,50	121127,50	121127,50	121127,50	121127,50	121127,50	121127,50	121127,50	121127,50	121127,50	121127,50	121127,50	121127,50	121127,50
	Primer energia fogyasztás, Equipment (kWh)	208137,50	208137,50	208137,50	208137,50	208137,50	208137,50	208137,50	208137,50	208137,50	208137,50	208137,50	208137,50	208137,50	208137,50
	Primer energia fogyasztás (kWh/m ²)	77,15	77,15	77,15	77,15	77,15	77,15	77,15	77,15	77,15	77,15	77,15	77,15	77,15	77,15
	Összesített primer energia fogyasztás (kWh)	274387,50	264242,50	263900,00	274167,50	277092,50	274697,50	274697,50	277092,50	274697,50	274697,50	274697,50	274697,50	274697,50	274697,50
	Összesített primer energia fogyasztás (kWh/m ²)	101,71	97,95	97,82	101,63	102,71	101,82	101,82	102,71	101,82	101,82	101,82	101,82	101,82	101,82
	Előállított primer energia	24000,30	24000,30	24000,30	24000,30	24000,30	24000,30	24000,30	24000,30	24000,30	24000,30	24000,30	24000,30	24000,30	24000,30
	Termikus szolárkollektorok	24000,30	24000,30	24000,30	24000,30	24000,30	24000,30	24000,30	24000,30	24000,30	24000,30	24000,30	24000,30	24000,30	24000,30
	PV modulok	274375,00	274375,00	274375,00	274375,00	274375,00	274375,00	274375,00	274375,00	274375,00	274375,00	274375,00	274375,00	274375,00	274375,00
	Tellelvegő hőcserélő- Fűtés	3896,89	3896,89	3896,89	3896,89	3896,89	3896,89	3896,89	3896,89	3896,89	3896,89	3896,89	3896,89	3896,89	3896,89
	Tellelvegő hőcserélő - Hűtés	223,58	223,58	223,58	223,58	223,58	223,58	223,58	223,58	223,58	223,58	223,58	223,58	223,58	223,58
	Összesített előállított primer energia (kWh)	302495,77	302495,77	302495,77	302495,77	302495,77	302495,77	302495,77	302495,77	302495,77	302495,77	302495,77	302495,77	302495,77	302495,77
	Összesített előállított primer energia (kWh/m ²)	112,13	112,13	112,13	112,13	112,13	112,13	112,13	112,13	112,13	112,13	112,13	112,13	112,13	112,13
	Primer energia mérleg (kWh)	-28108,27	-38253,27	-38595,77	-28328,27	-25403,27	-27798,27	-27798,27	-25403,27	-27798,27	-27798,27	-27798,27	-27798,27	-27798,27	-27798,27
	Primer energia mérleg (kWh/m ²)	-10,42	-14,16	-14,31	-10,50	-9,42	-10,30	-10,30	-9,42	-10,30	-10,30	-10,30	-10,30	-10,30	-10,30
	CO ₂ emisszió csúskéntes (kg)	-8914,77	-12132,04	-12240,97	-8984,55	-8066,86	-8816,45	-8816,45	-8066,86	-8816,45	-8816,45	-8816,45	-8816,45	-8816,45	-8816,45
	CO ₂ emisszió csúskéntes (kg/m ²)	-3,30	-4,50	-4,54	-3,33	-3,27	-3,27	-3,27	-3,33	-3,27	-3,27	-3,27	-3,27	-3,27	-3,27

14. ábra: A dinamikus numerikus épületszimulációk kiértékelt energetikai eredményei (szerkezeti optimalizációk)

- Az összesített priménergia mérleg a referencia modell 28108,27 kWh/a és 10,42 kWh/m²a pluszenergia mérlegével szemben, a 6/2-es modell 38595,77 kWh/a és 14,31 kWh/m²a pluszenergia mérleget egyben 27%-os javulást teljesített. A referenciamodell 8914,77 kg/a és 3,3 kg/m²a CO₂-redukciójával szemben a 6/2-es modell 12240,97 kg/a és 4,54 kg/m²a fajlagosított CO₂-csökkentést ért el.
- Összegezve megfontolandó eredmény született: az üvegezés és nyílászárók energetikai optimalizálásával, továbbá külső árnyékoló alkalmazásával (6/2-es számú modell) nagyobb energetikai megtakarítást lehet elérni, mint a külső hőszigetelés 20 cm-ről 40 cm vastagságra való megkettőzésével (6/3-as számú modell). Az üvegezés és nyílászárók energetikai optimalizálása, külső árnyékolás és a hőszigetelés megduplázása (6/6-os számú modell) az adott modellben magasabb energiafogyasztást indukált, mint a csak üvegezés, nyílászárók és árnyékolás szintjén optimalizált modellben (6/2-es számú modell).

4.4. 4. Tézis

Az épület központi csarnokszerkezetének nagymélységű geometriájából adódó problematikus zónák természetes szellőzését egy átmeneti szezonokban passzív, hűtő hatású, szellőzést, hűtési időnyben pedig kiszellőzést biztosító szellőző torony rendszer kifejlesztésével oldottam meg. A három bevilágító és passzív hűtőhatású szellőző toronyból álló szerkezet működőképességének és hatékonyságának, illetve az épület további passzív szellőző rendszereinek (átrium galéria), egyben az épület aerodinamikai karakterének vizsgálata céljából egy négylépcsős validáló eljárást dolgoztam ki.

- Az igazoló eljárás iterációs számításokból, épületaerodinamikai szélcsatorna vizsgálatosorozatból, CFD (computational fluid dynamics) numerikus áramlástan szimulációkból, és egy későbbi időpontban a megépült épület monitoring vizsgálataiból [6] áll.
- Az iterációs számítás közelítő eredményei a termelőcsarnok gravitációs toronyszellőzésének alapvető működőképességét igazolták. A kürtőhatás légtér-fogatáram, a hűtendő hőteher és a szellőzőnyílások különböző utánáramlási ellenállások számításait állítottam relációba. A kürtőhatás számítását a következő összefüggés alapján számítottam:

$$\dot{V} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{c_{v,be} \cdot A_{be}}\right)^2 + \left(\frac{1}{c_{v,ki} \cdot A_{ki}}\right)^2}} \sqrt{2 \cdot g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot \Delta H} \quad (1)$$

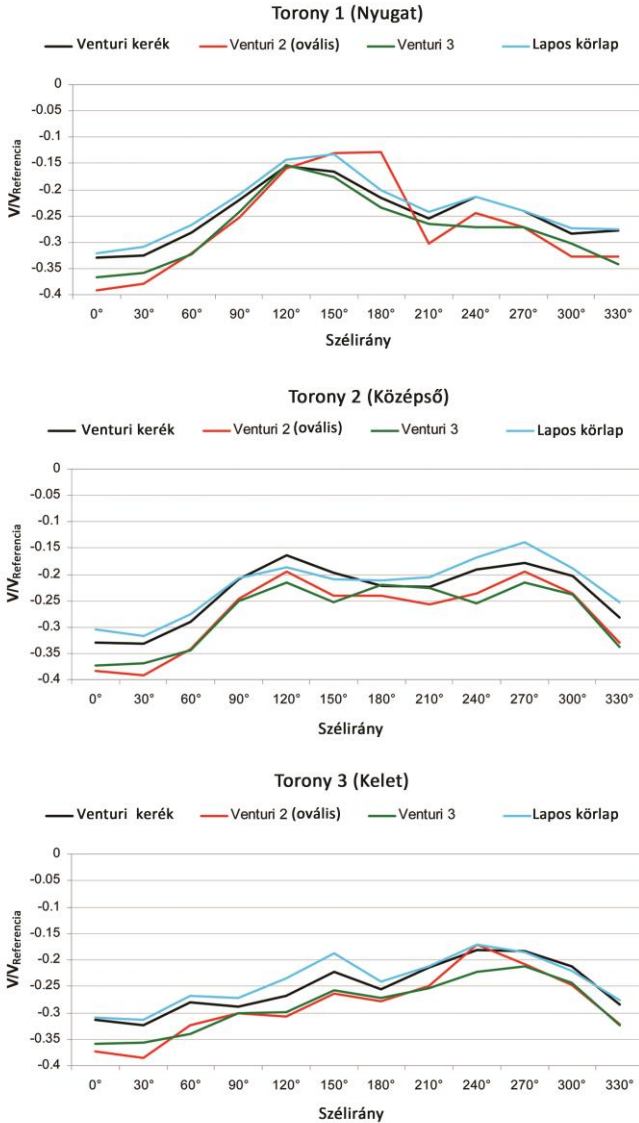
ahol A a szellőző nyílás felületét, g a gravitációs gyorsulást, c_v az átáramlási koefficienset, β a termikus tágulási koefficienset, ΔT az átlagolt hőmérsék-

letkülönbséget, ΔH pedig az átlagolt magasságkülönbséget jelenti. A termikus felhajtóerő a három toronyban nagyobb volt mint az utánáramlási nyílások ellenálása, miáltal a tornyműködés igazolódott.

- A szélesatorna méréssorozat folyamán a természetes szellőzést determináló szélindukciós hatásmechanizmust, illetve a termikus felhajtóerővel működő gravitációs légáramlás hatását (kürtőhatás) vizsgáltam. Ezenkívül a szél és a gravitációs felhajtóerő együttes hatását is számszerűsítettem.
- Az aerodinamikailag optimális toronyszerkezet kifejlesztése érdekében négy torony-prototípus variánszt teszteltem különböző 'Venturi' tányérszerkezettel ellátva. A tányérszerkezetek és a tornyok közötti légtérben a 'Venturi' szerkezetek határréteg áramlást gyorsító hatást hivatottak gyakorolni a széláramlásra.
- A mérésdatgyűjtés 30° -onként, 12 szélirányból, 95 mérési ponton történt. A szélirány és -sebesség függő helyi mért nyomásértékek, az átlagolt helyi statikus nyomás (p_∞), a környezet levegőjének sűrűségének (ρ) és a referencia áramlási sebességéből (u_{ref}) adódó nyomás (10 m magasságban) ismeretében a következő egyenlet alkalmazásával, mértékegység nélküli nyomásegységűthetokat (c_p) határoztam meg.

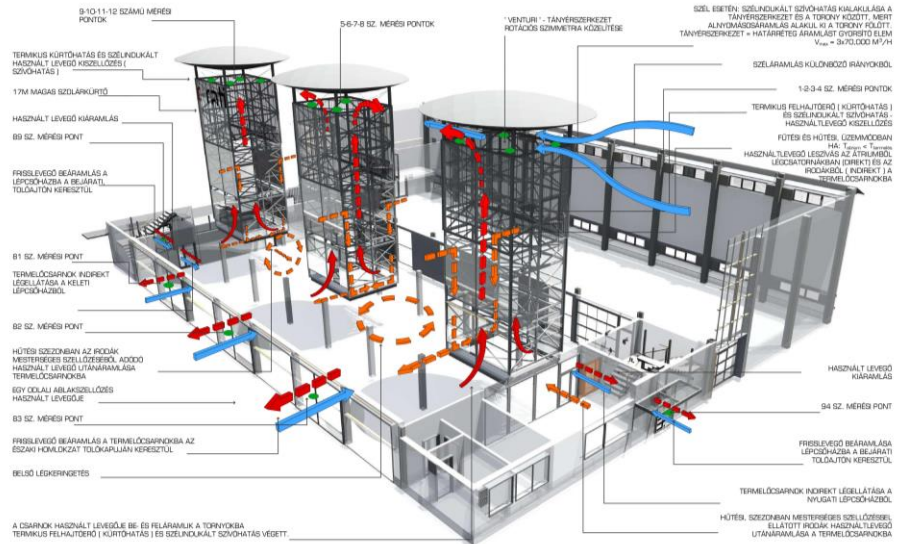
$$c_p = \frac{p - p_\infty}{\frac{\rho}{2} u_{ref}^2} \quad (2)$$

- A c_p -értékek pozitív illetve negatív előjelű eredményei al- és túlnyomást jelentenek. A c_p -értékek és az épületbelső mértékegység nélküli nyomásegységűthetójának különbségéből a ki- (negatív érték) és beáramlást (pozitív érték) is definiáltam.
- A tornyok és integrált 'Venturi' szerkezeteik a mérési eredményekben, bizonyos szélirányok esetében több mint $210000 \text{ m}^3/\text{h}$ légtérfogat áram passzív, külső energiaforrás nélküli légátöblítést, továbbá 5 K épületkülső és belső hőmérsékletkülönbség illetve együttes szél- és gravitációs hatás esetében, folyamatos kiáramlást biztosítanak. (15. ábra) [7]
- Szélcsend esetén ha $T_{bent} - T_{kint}$ hőmérsékletkülönbség pozitív eredménnyel rendelkezik, akkor gravitációs szellőzés működik termikus felhajtóerő függvényében, ha $T_{bent} - T_{kint}$ negatív eredménnyel rendelkezik, akkor a visszaáramlás veszélye fennáll, melyet a nyári hűtési szezonban a légtechnika befűvési, túlnyomást biztosító légtechnikai rendszere hivatott kompenzálni.



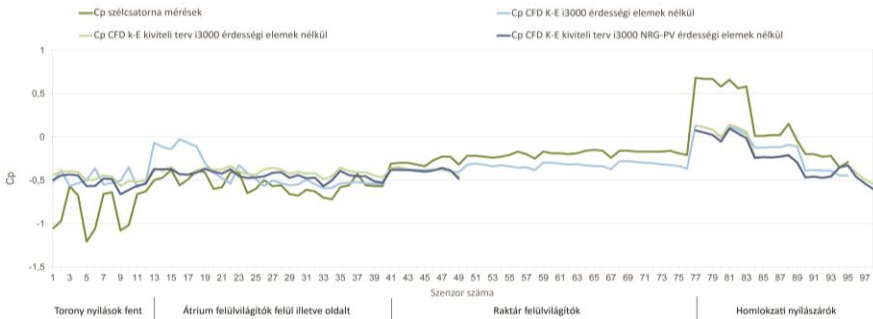
15. ábra: Kiáramlási légtérfogat áram a három toronyból, gravitációs felhajtóerős és szélindukált szellőzés esetében a termelőcsarnokban. $V_{\text{referencia}} = 210000 \text{ m}^3/\text{h}$, $u_H = 3 \text{ m/s}$, $T_{\text{bent}} - T_{\text{kív}} = 5 \text{ K}$.

- A szélcsatorna mérések hitelesítése és az időközben megtörtént kivitelezési terv változtatásainak kalibrált számításokkal való lekövetése érdekében CFD szimulációkat végeztem.



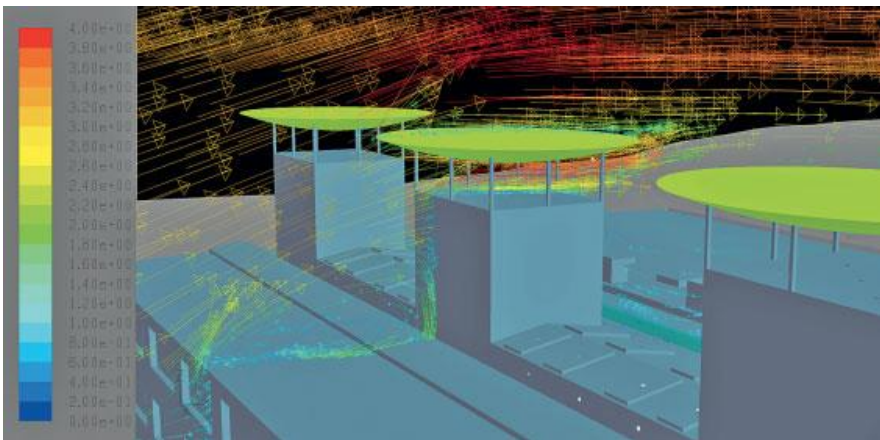
16. ábra: A termelőcsarnok természetes szellőzőrendszere a szélcsatorna kísérletek eredményei függvényében

- A preprocessing folyamán több mint 9 millió egységből álló, az épület modellt körülvevő térhálóat kellett építeni ahhoz, hogy a szükséges c_p -értékek az épületburok felületén szimulálhatóak legyenek (diszkretizáció).
- Az épület tompa teste, különösen az épületburok közvetlen környezete körül kialakuló áramlási szituáció valóságghú leképezése érdekében, a határretegen kívüli területen k-E enhanced wall treatment, illetve a falközeli területen k- Ω -SST (shear stress transport) turbulenciamodelleket alkalmaztam.
- A solver szimulációs számítási folyamatban a különböző szimulációs futtatások az északi iránytól (0°) 30° -ban eltérő áramlási irányból történtek, melyek közül a 3000 iterációval elvégzett „k-E-Ausführungsplan i3000 NRG-PV” – turbulenciamodell közelítette meg a legintenzívebben a szélcsatorna mérések c_p -profilját, és alapvetően a legpontosabb eredményeket produkálta (17. ábra). [7]
- Mivel mind a szélcsatorna technológia, mind a kalibrált CFD szimulációk a valóságot két különböző oldalról képezik le, a későbbi anemométeres épületmonitoring eredményei segítségével [6] lehetséges a két c_p -profil közül a pontosabbat azonosítani. A CFD szimulációk és a szélcsatorna mérések összevetése köztes validációnak számítanak, az anemométeres végső validáció előkészítéseként.



17. ábra: A szélcsatorna kísérletek és a CFD szimulációk c_p -profiljainak validálása

- A 18. Ábra az északi iránytól (0°) 30° -ban eltérő szélirányból történő áramlás esetében a középső torony által kialakított áramlási situációt mutatja sebességvektorok formájában. A 'Venturi' tányérszerkezet kétszeres faktorral gyorsítja a szélsébséget a torony és a tányérszerkezet közötti áramlási térben, ahol ezáltal alacsony nyomású zónát kialakítva, a szerkezet szívóhatást gyakorol a termelőcsarnok használtlevegőjére. Ezt a mechanizmust a tornyok kürtőhatása egészíti ki, egy szélenergiával támogatott hatékony passzív szellőzési rendszert kialakítva.
- Az energiahatékonyság szempontjából a három torony működésével a légtechnika és a helységtemperálás hűtési energiáját, továbbá a ventilátorok és a hidraulikai szivattyúk energiaigényét összességében 35%-al, 21070 kWh-ról 14045 kWh-ra csökkentették a nyári üzemperiódusban.



18. ábra: Az északi iránytól (0°) 30° -ban eltérő szélirányból történő áramlási situáció a középső torony esetében. (szoftver: Ansys Fluent 13)

Kapcsolódó publikáció:

- 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
- 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
- ifj Kistelegdi István: Épületaerodinamikai vizsgálatok egy megvalósuló sikondai projektben: Pluszenergia ipari és irodaépület, In: Dr Somogyvári Márta, Dr. Varga József (szerk.) Via Futuri 2011: Energiahatékonyságtól a megújuló energiákig, pp. 12-19., (ISBN:978-963-88260-4-6)
- István Ervin Háber, István Kistelegdi, István Farkas: Investigation of the solar- and wind energy usage of a positive energy factory, in: Technical Gazette ISSN 1330-3651 (Print), ISSN 1848-6339 (Online) Thomson Reuters 2011 Journal Citation Reports (JCR): IF 0,347. Befogadva.
- Kistelegdi István: Puszenergia potenciál egy ipari és iroda épületben, kiadó: Pécsi Tudományegyetem, 2013, lektorálta: Bodrossy Attila DLA

4.5. 5. Tézis:

A kivitelezési tervezési fázissal tipikusan együttjáró változások, alternatív megoldások és épületszerkezeti, illetve épületgépészeti pontosítások, kisebb mértékű helységelrendezési változások hatásainak klimatikai és energetikai lekövetése céljából a kiviteli tervezés folyamán új szimulációs épületmodellt készítettem (19. ábra). A kiviteli tervezés szerkezetileg és gépészetileg munkaközi fázisát elérve, az épületmodell energia mérlegének és klimatikai karakterének vizsgálatát dinamikus numerikus energetikai és klimatikai szimulációk segítségével végeztem. Az eredmények mutatják, hogy egy épület megvalósításhoz szükséges tipikus kivitelezési tervezési változtatások az épület referenciahelyégeiben a klimatikai minőséget csak egy helység esetében befolyásolták negatívan, a termelőcsarnokban, miközben a többi referenciahelység komfortparaméterei megfelelőek, pozitív épületenergiamérleg mellett. A termelőcsarnok zónájának optimálási igénye ellenére egyértelmű pluszenergia tendencia olvasható le az épület fogyasztási értékeiből. A komfortoptimalizáció egy aktuális komfortelmélettel foglalkozó kutatási program keretében folytatódik [8].

- Az épületben a következő szerkezeti-geometriai változásokat, fejlesztéseket vittem végbe:
 - A külső és belső falszerkezetek fa könnyűszerkezetről kerámiaelemes téglaszerkezetre lett átalakítva.

- A szellőztörtornyok és a 'Venturi' tányérszerkezetek geometriája négyzetes alaprajzról téglalap geometriára változott (az aerodinamikai optimalizáció során, lásd 4. tézis).
- A lépcsőházak és a raktáregység elhelyezése minimálisan módosultak.
- A keleti és nyugati előtetőket gazdasági okokból volt szűlséges elhagyni.



19. ábra: Munkaközi kivitei terv szimulációs multiklimazóna modellje (szoftver: IDA ICE 4.0 - 4.5)

- Az épületben a következő szerkezeti-anyagtani változásokat, fejlesztéseket vittem végbe:
 - a kivitei terv modell 2 rétegű hőszigetelő üvegezéssel ($U_{\text{üveg2}} = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$, $T_{\text{üveg2}} = 0,81$, $g_{\text{üveg2}} = 0,63$), illetve polycarbonat szerkezetekkel rendelkezik ($U_{\text{poly}} = 1,45 \text{ W/m}^2\text{K}$, $T_{\text{poly}} = 0,39$, $g_{\text{poly}} = 0,42$). A belső átrium tető árnyékolással $g_{\text{poly-belső árny}} = 0,185$, a 20 cm vastagságú külső hőszigeteléssel ellátott opak bukószervezetek $U_{\text{fal 20 hőszig}} = 0,1536 \text{ W/m}^2\text{K}$, és a 20 cm vastagságú hőszigeteléssel kiképzett lapos tetőszervezetek $U_{\text{Tető}} = 0,172 \text{ W/m}^2\text{K}$ értékekkel rendelkeznek.
- Az épületgépészeti modellezés és az épület használói profiljai, a kivitei tervezés folyamán pontosított, de még nem véglegesített beállításokkal készültek.
- A kiértéklést a 6-os számú referenciamodell összehasonlításával egyetemben végeztem, mivel a ebben a modellben a leghasonlóbbak az épületburok szerkezetek épületfizikai paraméterei, hőtechnikai és fénytechnikai szempontból. Így lehetőség nyílik a szerkezeti-geometriai változások és az épületfizikai parametrizálás (U , g és T -értékek) pontos lekövetésére.
- Klimatikai értékelés (20. ábra): a kivitei terv modelljében (7-es számú modell) kielemezve a három referenciahelység termikus komfort osztályozás, PPD és PMV indexek értékeit kijelenthető, hogy az irodahelység termikus komfortnívója az A kategória óráinak számában 30%-al, a B

kategóriában 23%-al, a C kategóriában 19%-al csökkent, minek következtében a D osztály 43%-al növekedett. A csökkenések ellenére összességében a termikus komfortkarakterisztika elfogadható és a szabványértékek szerint megfelelő. A PPD A kategóriája 75%-al, illetve a PMV index A kategóriája 23%-al növekedett, ami az új modell irodahelyiségének magas színvonalú komfortminőségét igazolja. A kávézó-többcélú terem termikus komfortnívó értékei az A, B, C és D kategóriákban hasonló tendenciát mutat, mint az iroda esetében. A PPD eredmények A kategóriás értékeinek 70%-os csökkenése és a PMV index A kategória 32%-os csökkenése ellenére az eredmények összességében elfogadhatóak. Összesítve, a két referenciahelyiség klimatikai minőségét tartja az új modell. A termelőcsarnok esetében a PPD és PMV komfortkategóriáinak óraszámában romlást mutatott, mely egyértelmű optimalizációt igényel. Épületszimulációs eredmények utalnak a termelőcsarnok passzív szellőzése folyamán kialakulható huzathatásra, mely negatívan befolyásolhatja a PPD és PMV indexeket. Többek között erre a hipotézisre koncentrálnak további klimatikai vizsgálataim, fejlesztéseim.

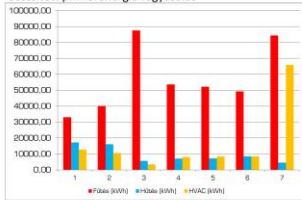


20. ábra: : Munkaközi kivitei terv szintű épület modell kiértékelte komfort-klimatikai eredményei

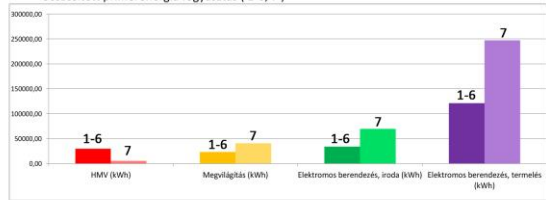
- Energetikai értékelés: Az épület fűtési igénye, a légtechnika ventilátorainak villamosáram fogyasztása, a mesterséges megvilágítás és az irodai, illetve a gyártástechnológia energiafogyasztása növekedett, míg a hűtési energiaigény és a HMV fogyasztás csökkenési tendenciát mutatott. A szimulációs

számítások kiértékelése keretében, az energiamérleg meghatározásánál, a kivitelei terv folyamán részletesen meghatározott gyártástechnológiát nem vettem figyelembe, az épület és a belső ipari gépi berendezések közötti energiafogyasztási függetlenség okából. Mivel az épületekben a gépi berendezések idő és igény függvényében változhatnak, továbbá nem szerves részeti a szoros értelemben vett épület működésének és üzemeltetésének, ezért a épület karakterisztikus energiafogyasztásának sem részei. Ezen berendezések hulladékhőjét a szimulációs számításokban viszont az épület komfortklimatikai karakterisztikájának meghatározása értelmében figyelembe vettem: a hulladékhő fűtési időszakban pozitív, a hűtési szezonban negatív klimatikai, hatást gyakorol az épületre, mely ennek megfelelő téli tehermentesítő és nyári terhelő energetikai effektussal jár. A kivitelei terv modell priménergia fogyasztása: 270317,92 kWh/a és 100,2 kWh/m²a, mely az eredeti 6-os számú referenciamodell 274387,5 kWh/a, illetve 101,71 kWh/m²a fogyasztásával közel azonos nívót jelent (21. – 22. ábra).

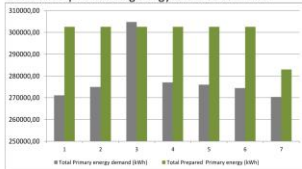
Összesített priménergia fogyasztás



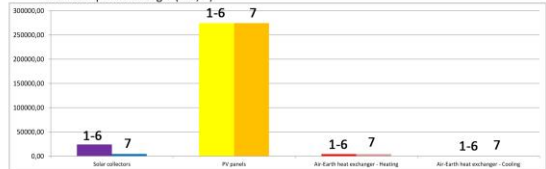
Összesített priménergia fogyasztás (1-6; 7)



Összesített priménergia fogyasztás és termelés



Előállított priménergia (1-6; 7)

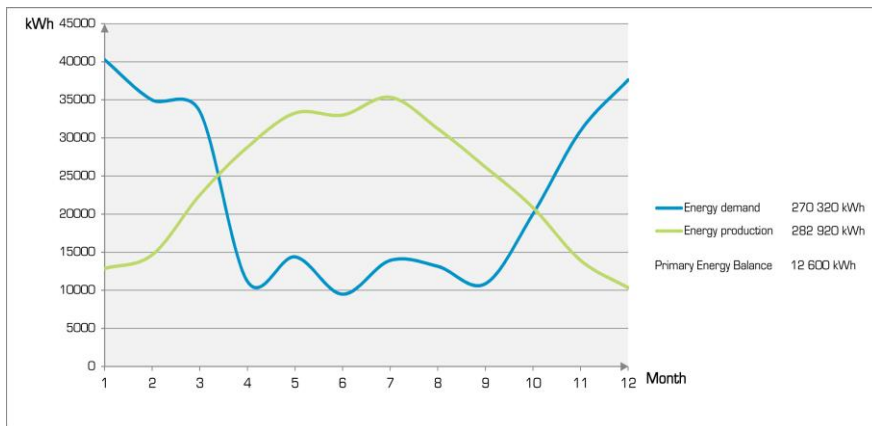


21. ábra: : Munkaközi kivitelei terv szintű épület modell kiértékelt pluszenergia mérlege

RAI1 - Primary Energy IDA model number	1	2	3	4	5	6	7
AHU full year operation							
AHU summer operation							
AHU winter operation							
Windows opening summer							
Windows opening winter							
Windows opening transition period							
Heating operation							
Cooling operation							
Gas (kWh)	33350.00	40117.50	97575.00	53677.50	52542.50	46350.00	84427.50
Heat (kWh)	17166.50	16060.00	5635.00	7045.00	7142.50	6405.00	4650.00
HVAC (kWh)	12720.00	10610.00	3382.50	8112.50	8450.00	8495.00	6590.00
Primary energy demand, HCHVAC (kWh)	62532.50	66787.50	96592.50	68835.00	67805.00	66290.00	154862.50
Primary energy demand, HCHVAC (kWh/m ²)	23.33	24.76	35.80	25.52	25.13	24.56	57.41
AIU (kWh)	29630.00	29630.00	29630.00	29630.00	29630.00	29630.00	29630.00
Megajoules (kWh)	22352.50	23352.50	23352.50	23352.50	23352.50	23352.50	40570.00
Electronics (peripherals, ends) (kWh)	34027.50	34027.50	34027.50	34027.50	34027.50	34027.50	69409.42
Electronics (peripherals, terminals) (kWh)	121127.50	121127.50	121127.50	121127.50	121127.50	121127.50	247036.25
Primary energy demand, Equipment (kWh)	208137.50	208137.50	208137.50	208137.50	208137.50	208137.50	115435.42
Primary energy demand, Equipment (kWh/m ²)	77.15	77.15	77.15	77.15	77.15	77.15	42.79
Total Primary energy demand (kWh)	271070.00	274925.00	304730.00	276972.50	275942.50	274387.50	270317.92
Total Primary energy demand (kWh/m ²)	100.48	101.91	112.96	102.67	102.28	101.71	100.20
Prepared Primary energy							
Solar collectors	24000.30	24000.30	24000.30	24000.30	24000.30	24000.30	4422.60
PI panels	274375.00	274375.00	274375.00	274375.00	274375.00	274375.00	274375.00
Air-Earth heat exchanger - Heating	3896.89	3896.89	3896.89	3896.89	3896.89	3896.89	3896.89
Air-Earth heat exchanger - Cooling	223.58	223.58	223.58	223.58	223.58	223.58	223.58
Total Prepared Primary energy (kWh)	302495.77	302495.77	302495.77	302495.77	302495.77	302495.77	282918.07
Total Prepared Primary energy (kWh/m ²)	112.13	112.13	112.13	112.13	112.13	112.13	104.87
Primary energy balance (kWh)	-31426.77	-27570.77	2234.23	-25523.27	-26553.27	-26106.27	-12600.15
Primary energy balance (kWh/m ²)	-11.65	-10.22	0.83	-9.46	-9.94	-10.42	-4.67
CO ₂ emission reduction(kg)	9666.94	8744.30	708.60	-8034.92	-8421.59	-8914.77	-3896.24
CO ₂ emission reduction(kg/m ²)	3.69	3.24	0.26	-3.00	-3.12	-3.30	-1.48

22. ábr: Munkaközi kiviteli terv szintű épület modell kiértékelt energetikai eredményei

- Az összesített priménergia mérleg a referencia modell 28108,27 kWh/a és 10,42 kWh/m²a pluszenergia mérlegével szemben, a 7-es számú modell 12600,15 kWh/a és 4,67 kWh/m²a 45%-al gyengült pluszenergia mérleget teljesített (23. Ábra). A referenciamodell 8914,77 kg/a és 3,3 kg/m²a CO₂-redukciójával szemben a 7-es modell 3996,24 kg/a és 1,48 kg/m²a fajlagosított CO₂-csökkentést ért el.

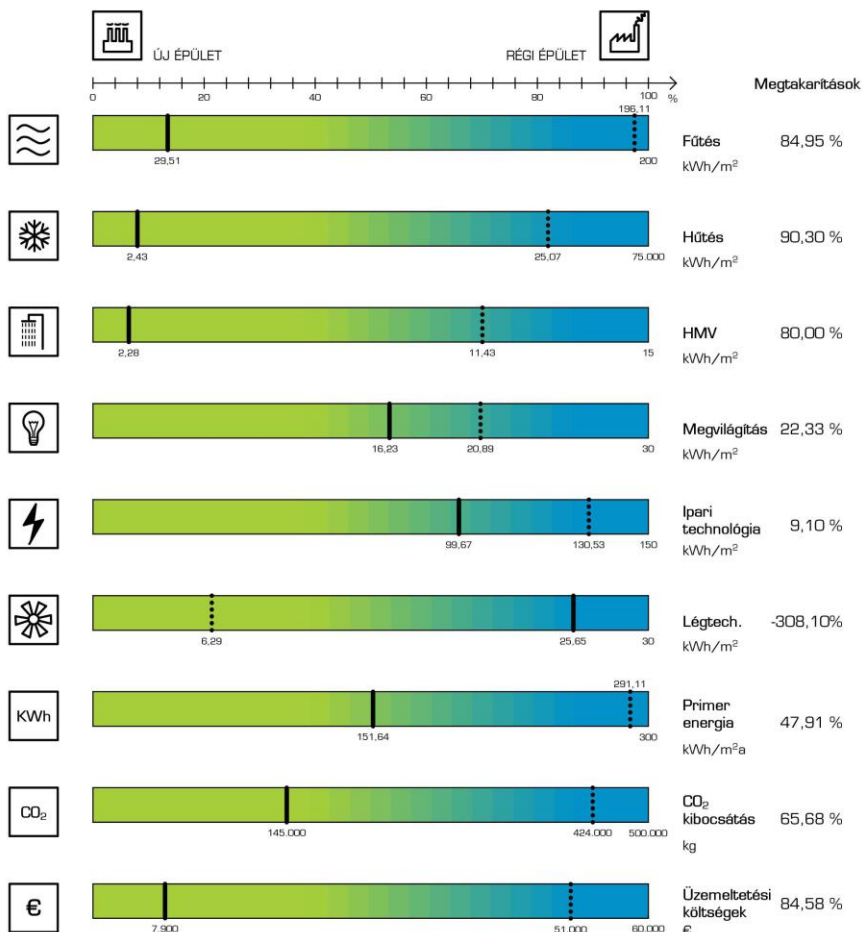


23. ábra: : Munkaközi kivitei terv szintű épület modell kiértékelt arányosan havi fajlagosított pluszenergia mérlege

4.6. 6. Tézis

Az új RATI épület szimulációs eredményeinek és a meglévő 2012-ig üzemelő, közel ugyanakkora, kb. 2100 m² hasznos alapterületű régi RATI épületének üzemeltetési számláiból kimutatott energiafogyasztás értékeinek egyeztetésével, a tevezett épületmodell energiamegtakarítási potenciálját dolgoztam ki. Az új épület 2515 m² hasznos alapterülete kb. 27%-al nagyobb, mint a régi komplexumé, ami az összehasonlítás keretében az új épületet bár hátrányban részesíti, ugyanakkor az eredmények relációjában teljesítményét erősítette.

- A 21. ábra hasznos alapterületre és évre fajlagosítva mutatja, hogy a primer energiafogyasztás 47,91%-ban, a HMV fogyasztás a 10 db napkollektornak köszönhetően 80%-ban, a fűtési igény 84,95%-ban, a hűtési fogyasztás pedig 90,3%-al csökkent az új épületben. Mindez kihat az 65,68%-os CO₂-emisszió csökkenésre és az üzemeltetési költségekre, mely több mint 80%-al kevesebb, mint az eddigi üzemnél.



21. ábra: : A régi és új ipari és irodaépület energetikai összehasonlító analízise és az új épületmodell energiamegtakarítási potenciáljának kimutatása

Kapcsolódó publikáció:

- 2013.05. 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, Bálint Póth, István Kistelegdi (Jr.): PLANNING AND RESEARCH OF SMART BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS WITH THE ‘ENERGYDESIGN ROADMAP’ METHOD, in: POLLACK

4.7. 7. tézis

Kidolgoztam egy eljárást, mely segítségével az épületburokra gyakorolt szélhatás függvényében az energetikai-klimatikai épületszimulációs számításokat tovább lehetséges pontosítani.

- E cél érdekében, az épületburok felületein fellépő szélintenzitástól és széliránytól függő nyomáseggyütthatók értékeit a szélcsatorna mérésadatgyűjtés eredményeinek felhasználásával meghatároztam.
- A meghatározott precíz szélnyomás együtthatókat az épületszimulációs modell burokszerkezetébe integráltam.
- A szimulációs eredmények nem mutattak szignifikáns különbséget az eddigi szimulációktól, melyekben az említett c_p -koefficiensek nem voltak megadva, illetve a szoftver a nemzetközi épületinfiltrációs és szellőzési irodalomból összeállított automatikus adatbázisából [9] lettek definiálva.
- A fenti okból kifolyólag kijelenthető, hogy az IDA ICE épületszimulációs program ezen beállítási rendszerében további fejlesztésekre van szükség.

4.8. 8. Tézis

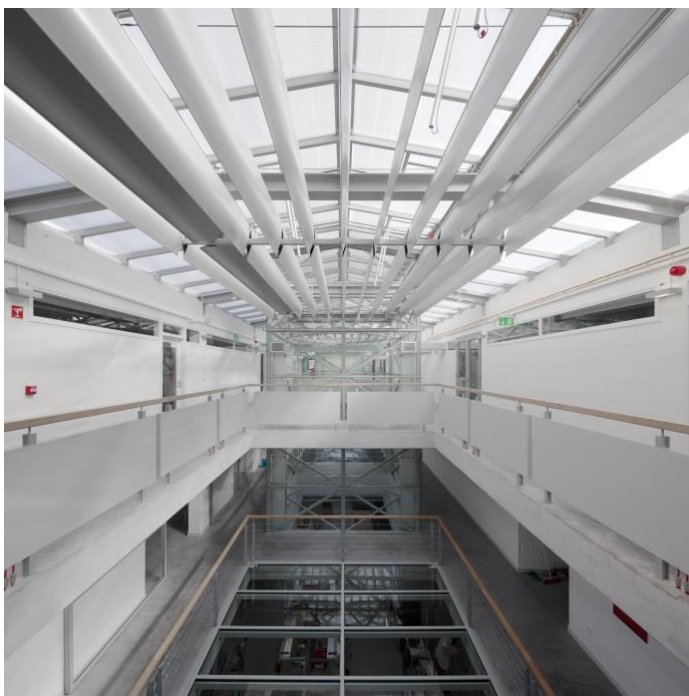
A Komló, Nagyrét utca 2. sz alatti, 1508/20. helyrajzi számú építési telken kivitelezésre került az ENERGIA DESIGN módszerrel kialakított Roadmap algoritmus alapján tervezett-fejlesztett, pluszenergia mérleggel rendelkező épületmodell (22.-23. ábra). Mivel a megvalósítás folyamán az eredetileg tervezett 420 db-ból álló PV-modul rendszerből költségkeretek függvényében 51 db valósult meg, ezért a projekt pluszenergia potenciállal rendelkező épületnek minősül, ahol az energiamérleg a tervezett napelemrendszerrel számított.

- A épület komplexum kivitelezése keretében a Roadmap alapján fejlesztett épület klímamodellje valósult meg a következő megoldásokkal:
 - Az épület geometriai tömegformálása.
 - Az épület klímazóna rendszere.
 - Az épületszerkezetek anyagai fa tartószerkezet és vázkitöltő falszerkezetek esetében vasbeton pillérvázra és kerámiaelemes téglafalazásra cserélődött le költségkeret függvényében.
 - Az épületburok üvegezési aránya.
 - Az épületburok árnyékolástechnikája.

- A szezonális üzemeltetési ütemek szerinti klíma-, gépészeti és energiaellátási koncepció: természetes és mesterséges szellőzési rendszer, fűtési és hűtési rendszer, természetes és mesterséges megvilágítási rendszer.



22. ábra: : A kivitelezett ipari és irodaépület északi fő homlokzata



23. ábra: : A kivitelezett ipari és irodaépület központi átriuma

- Az épületgépészeti és energiaellátási rendszer magában foglalja a következő alrendszereket:
 - Fűtési és hűtési alapterhet ellátó környezeti hőforrás: 25 db 100 m mély geotermikus földszonda rendszer, 100 kW hőteljesítménnyel.
 - HMV-termelésre rásegítő termikus szolárrendszer: 10 db síkkollektor rendszer HMV-puffertartállyal és frissvíz moduldal kiegészítve.
 - 3 db talajhő-víz hőszivattyú fűtés és hűtés céljából, fűtési COP: 4,5 és hűtési EER: 5, szondarendszer passzív hűtését figyelembe véve JAZ: 12-15.
 - 4 db fűtési és 3 db hűtési puffertartály rendszer.
 - Alacsony hőmérsékletű felületi sugárzó padlófűtés és mennyezettemperálás vasbeton födémrendszerben. A padlófűtéses terek egyedi helységezbályzással vannak ellátva.
 - Alacsony hőmérsékletű felületi sugárzó falfűtés és hűtés rendszer a 2 db tárgyalóban.
 - 1060 m hosszúságú talaj-levegő hőcserélő kollektor, „tichelmann” kötésben a légtechnika frisslevegőellátásának előfűtése illetve előhűtése céljából.
 - 3 db keresztáramú lemezes hővisszanyerővel ellátott légkezelő berendezés és 1db hővisszanyerő berendezés hajtja meg a légtechnika központi rendszerét max. 60%-os hővisszanyerési hatásfokkal.

Kapcsolódó publikáció, idézettség:

- István Kistelegdi: Rati, Plus Energy Green Factory and Office Building in: WORLD CLASSIC ECOLOGICAL ARCHITECTURE, Phoenix Publishing LTd, Hong Kong, China, 2012, pp. 234-241, ISBN 978-988-16527-0-6.
- „Jövőépítők”, Rati ütemé és irodaépület, Komló. Szerző: Götz Eszter, Régi-Új Magyar Építőművészet 2013/3, 22-25 old.
- „Új szelek fújnak”, A RATI gyárépülete komlón. Szerző: Gyergyák János DLA, OCTOGON 2012/10, 44-47.old.
- Kistelegdi István: Puszenergia potenciál egy ipari és iroda épületben, kiadó: Pécsi Tudományegyetem, 2013, lektorálta: Bodrossy Attila DLA

4.8. Folyamatban lévő kutatások megállapításai

Egy PTE-ipari partner kutatási kooperációs egyezmény megszervezésével a Pécsi Tudományegyetem és a RATI Kft között, a megvalósult épületet demonstrációs kísérleti klímaborként használja az általam vezetett Energiadesign kutatócsoport, hosszútávú energetikai és klimatikai, továbbá aerodinamikai épületmonitoring és vezérlés céljából. Az épületben kiépített BMS (Building Management System) épületfelügyeleti rendszer működteti a komplex

energetikai és gépészeti illetve motorizált szellőztető nyílászáró szerkezeteket. Egy MMS (Mobile Monitoring System) mobilis épületmonitoring rendszer bővítéssel nagyfelbontású épületenergetikai, -klimatikai és -aerodinamikai mérésadatgyűjtés, illetve az interfésszel kapcsolt BMS rendszer segítségével finombeállítási lehetőség biztosított 2013 őszétől a demonstrációs épületben. Ennek a megoldásnak köszönhetően egyrészt az épület pluszenergia potenciálját szándékozom validálni, mely mérések és számítások keretében a tervezett nagyobb PV-rendszer (420 db napelem), jelenlegi redukált PV rendszer (51 db napelem) mérésadatain alapuló számított energiatermelését az épület energiámérlegében figyelembe veszem. Másrészt a tervezési módszert is tervezem véglegesen hitelesíteni, melynek szerves része a szimulációs eredmények validációja is, mely a szimulációs modellezés és beállítás kalibrálását jelenti.

Jelenlegi kísérleti mérések tárgya a ház egyik prototipikus eleme, az alacsony hőmérsékletű felületi sugárzó fűtő és hűtő fa-könyűbeton korlátszerkezet rendszer. A betonpanel receptúrája a Technische Universität München Épülettechnológia tanszékén fejlesztett, Roland Krippner PhD-kutatásának keretében. Prof. Roland Krippner, Friedrich-Simon-Ohm Hochschule Nürnberg közreműködésével hazánkban gyártattam a prototípusokat, melyek a PTE PMMIK, Épületgépészeti tanszékén folytatott hőtechnikai előmérések [10] alapján hatékonyak bizonyultak a jelenleg folyó hosszútávú monitoring teszt számára a demonstrációs épületben.

A másik prototípus, az aerodinamikailag optimált passzív szellőzőtorony és 'Venturi'-tányérszerkezet rendszer, mely áramlási rendszer méréses igazolásának szerves része a tornyok felső részébe integrált kísérleti toronyfűtés rendszer. A hipotetikus működési elv alapján hűtési szezonban, a tornyokban kialakulható alacsony kürtőhatás, áramlási sebesség fellépésének esetében, a toronyfűtés hőcserélője a szolárkürtő hatást hivatott erősíteni, a torony felső légtérének fűtésével. A szükséges hőenergiát a napkollektor rendszer hulladék hője szolgáltatja, abban az esetben, ha a HMV-puffertároló szoláris hőenergiával megtelt. Előnyös mellékhatás, hogy ezúton a termikus szolárrendszer visszűtése is bizonyos mértékben biztosított. A rendszer gyakorlati működését és hatékonyságát a hosszútávú monitoring kutatási programban vizsgálom.

Az épület összesített energiafogyasztásáról jelenleg az első működési év üzemeltetési számlái és a BMS mérések alapján számított adat áll rendelkezésre. A szimulációs eredmények segítségével arányosított gyártástechnológia áramfogyasztása nem lett figyelembe véve a számításban. Ezzel ellentétben a tervezett napelem rendszert figyelembe véve az épület első éves priménerenergia mérlege kb. 3100 kWh értékben pluszenergia potenciált, pluszenergia termelést mutat.

4.9. A kutatási terület további perspektívái

A többéves MMS szimulációs monitoring kutatás eredményeit összegezve egy építőipari hiányt pótló épületenergetikai, -klimatikai és -aerodinamikai tervezési és üzemeltetési útmutató segédletet szándékozok létrehozni, mely tartalmazza az optimális üzemeltetés, a gépészeti rendszerek összehangolásának finombeállításait valamint az alacsony- és null- ill. pluszenergiamérleggel rendelkező köz- és lakóépületek tervezési módszerét, fogásait, technikáit. Segítségével nem csak új épületek esetében lehetséges rekord értékű épületfogyasztás minimálást elérni, hanem a meglévő épületállomány energiaoptimált felújításában is. Az útmutató eredményeivel a jövőbeli épületek esetében elegendő lesz egy jóval egyszerűbb és gazdaságosabb épületfelügyeleti rendszer használata, mely kisebb kapacitással is képes lesz az optimális működés vezérlésére.

További eredmény a DEKA épületszimulációs technikám nemzetközileg is jelentős szintre való fejlesztése, a szimulációs pontosság eddig el nem ért foka. A valós mérési és a szimulációs eredmények eltérésének pontos ismerete segítségével, az épületklímamodellezés és a szimulációs modellezés nyelvezetének ill. az épületmonitoring és felügyeleti automatika nyelvezetének közös nevezőre hozásával, iteratív szimulációk és mérések kísérletesorozatával további építőipari projektek, településszintű fejlesztések, felújítások esetében valamint nemzetközi és hazai élvonalbeli kutatási programokban, épületenergetikai előírások, pályázatok szakértésében lehetséges kulcsfontosságú szerepet betölteni, a lehető legpontosabb és hatékonyabb megoldásokat kidolgozni.

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
- [2] István Kistelegdi: „Roadmap für einen Climadesign Entwurf“, Masters’Thesis, ClimaDesign MSc mesterképzés, Technische Universität München, Lehrstuhl für Bauklimatik und Gebäudetechnik, Prof. Dr. Gerhard Hausladen.
- [3] Jan L. M. Hensen, Roberto Lamberts: Building Performance Simulation for Design and Operation, Spon Press, 2011, 3. old.
- [4] EN 15251 - Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics.
- [5] A termikus napkollektor kalkuláció a PTE PMMIK épületgépészeti tanszékének saját szoláris mérésadatok alapján kifejlesztett alkalmazásával készült. A PV-számítások a PVSYST V5.5 szimulációs programmal készültek, 418 db napelem méretezéssel és nyári szoláris nyereségre optimalizált 27° dőlésszöggel.

[6] Dinamikus szimulációkkal támogatott épületmonitoring kutatási program a megvalósított pluszenergia potenciállal rendelkező ipari és irodaépületben a PTE és a RATI Kft közötti együttműködési megállapodás keretében, 2013-tól.

[7] 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

[8] PhD kutatási program a PTE PMMIK Energiadesign tanszéken: „Épületbelső komfortkörnyezetének maximalizálási potenciálanalízise, minimális energia fogyasztás mellett”, PhD hallgató: Váradiné Varga Orsolya, témavezető: Kistelegdi István.

[9] IDA ICE 4.5 szofver, használói leírás, „Air Infiltration and Ventilation Centre”.

[10] Baumann Mihály témavezető, Lenkovics László, Budulski László: „Ökobeton hűtő-fűtő panel fűtési és hűtési teljesítmény mérése”, mérési eredmény kiértékelés és baszámló, PTE PMMIK Épületgépészeti tanszék

Saját publikációk a témában

Monográfia

- Kistelegdi István: Puszenergia potenciál egy ipari és iroda épületben, kiadó: Pécsi Tudományegyetem, 2013, lektorálta: Bodrossy Attila DLA

Könyvfejezet

- István Kistelegdi: Rati, Plus Energy Green Factory and Office Building in: WORLD CLASSIC ECOLOGICAL ARCHITECTURE, Phoenix Publishing LTd, Hong Kong, China, 2012, pp. 234-241, ISBN 978-988-16527-0-6.
- 2013. 05. Póth Bálint, ifj. Kistelegdi István: A Szentágothai Kutatóközpont épületfizikai szimulációi és épületfelügyeleti rendszere, In: Buday-Sántha Attila, Danka Sándor, Komlósi Éva (szerk.) Régiók fejlesztése 2013/1-3: 2013/3 tanulmánykötetben 25-37. o. (ISBN:978-963-642-531-9), Konferencia helye, ideje: Pécs, PTE 2013.05.23-24.
- 2013.05. 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.
- 2013.05. 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:

Folyóirat cikk

- 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). Befogadva.
- István Ervin Háber, István Kistelegdi, István Farkas: Investigation of the solar- and wind energy usage of a positive energy factory, in: Technical Gazette ISSN 1330-3651 (Print), ISSN 1848-6339 (Online) Thomson Reuters 2011 Journal Citation Reports (JCR): IF 0,347. Befogadva.
- Bálint Póth, István Kistelegdi (Jr.) “ENERGY AND CLIMATE SIMULATIONS AND MANAGEMENT SYSTEM IN THE SZENTÁGOTHAÍ RESEARCH CENTRE”, in: POLLACK PERIODICA : AN INTERNATIONAL JOURNAL FOR ENGINEERING AND INFORMATION SCIENCES (ISSN: 1788-1994). 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). Befogadva.
- Bálint Póth, István Kistelegdi (Jr.) THE HISTORY OF THE ENERGY AND CLIMATE CONCEPT OF THE SZENTÁGOTHAÍ RESEARCH CENTRE, in: POLLACK PERIODICA: AN INTERNATIONAL JOURNAL FOR ENGINEERING AND INFORMATION SCIENCES (ISSN: 1788-1994). Befogadva.
- 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
- 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
- István Kistelegdi, Bálint Baranyai: Dynamic Simulation Supported Indoor Climate and Energy Building Modelling (paper ID A4359) ICCEA 2012 Konferencia Hong Kong-ban konferencia paper-je, in: IACSIT International Journal of Engineering and Technology, Vol. 5, No. 2, April 2013.ISSN,1793 8236, DOI: 10.7763/IJET.2013.V5.537
- Kistelegdi István: Egy új szakág a fenntartható épített környezet szolgáltatában: Climadesign – Energiadesign in: UTÓIRAT: AZ ÚJ

MAGYAR ÉPÍTŐMŰVÉSZET MELLÉKLETE (ISSN: 1789-9680) 2012/1: (66) pp. 13-19. (2012)

- ifj. Kistelegdi István: Dinamikus szimulációkkal segített épületklimatikai és -energetikai épületmodellezés, in: METSZET 2012:(2012/1) pp. 52-53. (2012)
- ifj Kistelegdi István: RATI - Form follows energy..., in: ÉPÍTÉSZFÓRUM Paper 19280. (2011)
- ifj Kistelegdi István: Épületaerodinamikai vizsgálatok egy megvalósuló sikondai projektben: Pluszenergia ipari és irodaépület, In: Dr Somogyvári Márta, Dr. Varga József (szerk.) Via Futuri 2011: Energiahatékonyságtól a megújuló energiáig, pp. 12-19., (ISBN:978-963-88260-4-6)
- Kistelegdi István: Energia dizájn műhely a PTE PMMK építész- és mérnökképzésében in: MAGYAR ÉPÍTŐIPAR (ISSN: 0025-0074) 59: (1) pp. 31-37. (2009)

Konferencia cikk

- (2011) Ifj. Kistelegdi István: ROADMAP az Energiadesign polydimenzionális tervezési folyamathoz, in: Ifj Kistelegdi István (szerk.): Energiatudatos, fenntartható építészet - Climadesing: Konferenciakötete, Tudományos Mandula Virágzási Napok 2011, pp. 21-32., (ISBN:9789630809443)
- ifj Kistelegdi István: A jövő háza - pluszenergia az épületekben, In: Dr Kiss Tibor, Dr. Somogyvári Márta, Dr. Varga József (szerk.): Via Futuri 2010: A jövő energiái., Pécs: Interregionális Megújuló Energia Klaszter Egyesület, pp. 143-152., (ISBN:978-963-88260-4-6)

Előadás

- Energiedesign im Spannungsfeld zwischen Bauen und Forschen előadás német nyelven a Fachhochschule Würzburg Schweinfurt Építészeti Karon Würzburgban, Erasmus ösztöndíj 2013.04.15-19.
- Energieeffizienz beim Bau, Beispiele aus Ungarn előadás német nyelven a Fachhochschule Würzburg Schweinfurt Villamosmérnök szakán, Schweinfurtban, Erasmus ösztöndíj 2013.04.15-19.
- Fenntartható megoldások az épített környezetben energiadesign módszerrel, Környezeti Problémák a Kárpát Medencében II. nemzetközi konferencia Központi téma: a globális éghajlatváltozás – következmények és feladatok, 2012.11.30.
- Kistelegdi István Jr.: The history of the energy- and climate concept of the Szentágotthai Research Centre, szakmai előadás angol nyelven, 8th International PhD and DLA Symposium: 50th Anniversary Architectural, Engineering and Information Sciences.

- 1st International Doctoral Workshop on Natural Sciences, University of Pécs 2012, plenary oral presentation „Energydesign technologies in the Szentágothai Research Centre”
- „Dynamic simulations supported indoor climate and energy building modeling”, szakmai előadás angol nyelven, ICCEA 2012 International Conference on Civil Engineering and Architecture, 2012. augusztus 3-4 Hongkong - best Presenter díj

A munka tartalmilag szervesen kapcsolódik „Az új Szénchenyi 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 Szénchenyi Terv, TIOP 1.3.1-10/1-2010-0008, A Pécsi Tudományegyetem kutatási kiválósági területeinek komplex infrastruktúrális feljlesztése, Energiadesign és épületklimatikai labor kialakítása” K+F+I kutatási pályázati programok célkitűzéseinek megvalósításához. A kutatási projekt megvalósítását a pályázatok támogatták.