



IRODAÉPÜLET TERVEZŐ MÓDSZER FEJLESZTÉSE MODELLGENERÁLÓ ÉS OPTIMÁLÓ ALGORITMUSSAL

Ph.D. doktori értekezés

Androsics-Zetz Dóra Noémi
okleveles építészmérnök

Témavezető:
Prof. Dr. habil Kistelegdi István DLA, Ph.D.

Pécs, 2022



Doktori iskola megnevezése: Pécsi Tudományegyetem,
Breuer Marcell Doktori Iskola

Tudományág: Építészet

Doktori iskola vezetője: Prof. Dr. Bachmann Bálint
PTE-MIK

Témavezető: Prof. Dr. Kistelegdi István
PTE-MIK

.....
Doktori iskola vezetőjének jóváhagyása

.....
Témavezető jóváhagyása

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel mindenkinek a sok türelemért és támogatásért, ami a következő oldalak mögötti tartalom kidolgozását lehetővé tette.

Ez a kutatás a Pécsi Tudományegyetem, Breuer Marcell Doktori Iskola, Szentágothai János Kutatóközpont, Energia Design Kutatócsoportjának támogatásával készült.

Köszönöm témavezetőmnek, Dr. Kistelegdi István Professzor Úrnak a kutatómunkám végzéséhez szükséges feltételek, a megfelelő tudományos fórumokon való publikálási lehetőségek biztosítását, a kutatási téma kidolgozásában és a szimulációs eredmények kiértékelésénél nyújtott segítségét.

Külön köszönöm, Dr. Ercsey Zsoltnak algoritmikus geometriagenerálásban nyújtott szakmai támogatását.

TARTALOMJEGYZÉK

	JELÖLÉSJEGYZÉK	6
1.	BEVEZETÉS	7
2.	A KUTATÁS ELŐZMÉNYEI	8
	2.1. Szakirodalmi áttekintés.....	8
	2.2. Probléma felvetés.....	8
	2.3. A kutatás előzménye.....	9
	2.4. A kutatást megalapozó valós projektfeladatok.....	9
	2.4.1. Vizuális komfort vizsgálatok – Miskolc: „Tapolca kapuja” alacsony energiaigénnyel rendelkező lakópark.....	9
	2.4.2. Komfort és energia szimulációk – Pécsi Tudományegyetem, Általános Orvosi Kar – Új elméleti tömb.....	13
	2.5. Fejezethez tartozó tézisek.....	27
3.	EDOPT MÓDSZER: IRODAÉPÜLET TERVEZÉSI MÓDSZERTAN FEJLESZTÉSE	27
	3.1. A kutatás célja.....	29
4.	EDOPT KUTATÁSI PROJEKT – IRODAÉPÜLET PEREMFELTÉTELEK, ÉPÜLETKONFIGURÁCIÓ GENERÁLÁSI SZABÁLYOK	29
	4.1. Építészeti peremfeltételek, szabályok alkotása.....	30
	4.2. A lehetséges épület-konfigurációk generálása.....	34
	4.3. A főbb függvények.....	37
	4.3.1. Összefüggő terek számának ellenőrzése.....	37
	4.3.2. Irodablokk-méretetek meghatározása.....	38
	4.3.3. Sarokcsatlakozások ellenőrzése.....	38
	4.3.4. Átriumfolyosók vizsgálata.....	39
	4.3.5. Irodablokkok térszervezésének vizsgálata: lépcsőzetesség szabály.....	40
	4.3.6. Irodablokkok térszervezésének vizsgálata: buborék szabály.....	42
	4.4. Triviális vizsgálatok és számítások.....	45
	4.4.1. Irodablokkonként beltéri csatlakozással rendelkező BU-k száma.....	46

4.4.2. Irodablokkonként kültéri csatlakozással rendelkező BU-k száma.....	46
4.4.3. Irodablokkonként tényleges külső sarokpontok száma.....	46
4.4.4. Irodablokkonként tényleges negatív külső sarokpontok száma.....	47
4.4.5. Irodablokkonként épületfalon lévő sarokpontok száma.....	47
4.4.6. Irodablokkonként belső sarokpontok száma.....	48
4.4.7. Épületfalon levő BU-k.....	48
4.4.8. Galériák kialakítása átrium térben minden emeleti szinten.....	48
4.4.9. A_{tot}/S_{tot} -hányados alapú modell rendezés.....	48
4.5. Modellgenerálás eredménye.....	49
4.6. További építészeti szabályok szükségessége.....	53
4.7. Végző eredmények.....	54
4.8. A fejezethez tartozó tézisek.....	55
5. EDOPT KUTATÁSI PROJEKT – DINAMIKUS-TERMİKUS ÉPÜLETSZIMULÁCIÓS VIZSGÁLAT.....	56
5.1. Dinamikus-termikus épületszimulációk (IDA ICE).....	57
5.2. Épületszerkezetek meghatározása.....	58
5.3. Üzemeltetési beállítások.....	59
5.4. Szimulációs vizsgálat eredménye.....	62
5.4.1. Energiafogyasztás eredménye.....	62
5.4.2. Komfort eredménye.....	64
5.5. A fejezethez tartozó tézisek.....	66
6. EDOPT KUTATÁSI PROJEKT – OPTIMÁLIS ÉPÜLETMODELL MEGHATÁROZÁSA.....	66
6.1. Súlyozott sorrend felállítása.....	66
6.2. Optimális modell meghatározása.....	68
6.3. A fejezethez tartozó tézisek.....	70
7. VÉGSŐ EREDMÉNYEK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK.....	71
8. KITEKINTÉS.....	72
9. FELHASZNÁLT IRODALOM.....	73
10. SAJÁT PUBLIKÁCIÓK.....	79

JELÖLÉSJEGYZÉK:

	angol névjegyzék	magyar névjegyzék
ACH	Air Change	átlagos légcseres sebesség
AHU	Air Handling Unit	légkezelő rendszer
BG	Basic Group	Alapcsoport
BU	Basic Unit	Alapegység
DF	Daylight factor	nappali fény tényező
ED	Energy Design	Energia Design módszertan
EDOPT	Energy Design Optimisation	Energia Design Optimalizáció módszertan
HVAC	Heating, ventilation and air conditioning	Fűtés, szellőztetés és légkondicionálás
LCA	Life cycle assessment	életciklus elemzés, anyagok újrahasznosíthatósága
WWR	Window to wall ratio	Ablak-fal arány

1. BEVEZETÉS

A világ energiafogyasztásának kb. 40%-át az építőipari szektor teszi ki [1], [2], [3] ez a szám jelentős mértékű napjaink energiaválságos időszakában. A bizonytalan energiaellátottság, az alacsony komfortteljesítmény, valamint az építőipar okozta negatív környezeti hatások miatt az épületeoptimalizáció és tervezési módszerek fejlesztése a leginkább kutatott területté vált.

Az épületállomány jelentős részét irodaházak alkotják, ahol a legmagasabb szintű szellemi munkavégzés zajlik, így elengedhetetlen az optimális komfort szint biztosítása és a változó igényekhez való alkalmazkodó képesség. Az irodaházak magas energiaigénnyel rendelkeznek, főleg hűtési igény tekintetében, mivel a használatból eredő magas belső hőterhelés mellett a jellemzően nagyméretű üvegezett homlokzatok magas szoláris terhelést okoznak. Az iroda- és lakóépületek teljes energiafogyasztásának kb. 50%-át fűtésre, hűtésre és szellőztetésre fordítják [4], [5]. Ez a statisztika az előrejelzések szerint a jövőben további 28%-kal növekedni fog 2035-ig. Az épületek energiahatékonyságának javulása 2010 óta kb. 50%-kal lelassult az átlagos ütemhez képest [5]. Éppen ezért fontos szerepe van az energiahatékony épülettervezésnek. Ezalatt értem az átgondolt anyaghasználatot, ahol figyelembe van véve az ökológiai lábnyom az előállítástól kezdve a várható élettartamon át, az újrahasznosíthatóságig. Mindemellett fontos szempont az üzemeltetés, energiafogyasztás csökkentése oly módon, hogy a belső hő- és vizuális komfortszint minél magasabban tartható legyen. Ezt többnyire korszerű gépészeti berendezésekkel érhető el, megújuló energia használatával és passzív építészeti tervezési módszerekkel: tömegformálással, belső funkciók megfelelő elhelyezésével stb.

Doktori tanulmányaim során ezen építészeti tervezési módszerek kutatásával foglalkoztam a Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai kar, Breuer Marcell Doktori Iskola, Energia Design kutatócsoportban. A kutatócsoport tervezési feladatai között főleg gyártócsarnokok, labor épületek, irodaépületek, valamint lakóparkok szerepeltek, így adott volt, hogy nagyléptékű épülettervezési kutatással fogok foglalkozni. A kutatásom témája az irodaházakkal foglalkozik. Magyarországon egyre több, új irodaház létesítése figyelhető meg, főleg Budapesten, de már a vidéki városokban is jellemző. Ezek az épületek olyan beruházásokat jelentenek, melyek nagy energiaigénnyel rendelkeznek üzemeltetésben, sok embert foglalkoztatnak, huzamos tartózkodási igényűek, mindemellett multifunkciósak és megjelenésük reprezentatív. Kutatásom célja, irodaépületek tervezésének optimalizálása, a

jövő irodáját megtalálni, építészeti és épületkomfort, valamint energetikai szempontrendszerek alapján.

2. KUTATÁS ELŐZMÉNYEI

2.1. Szakirodalmi áttekintés

A komfort és energia teljesítmények optimalizálása céljából számos tanulmány foglalkozik az irodaépületek egyes részeinek fejlesztésével, optimalásával. Első sorban gépészeti és energetikai hatások kapcsán találhatóak kutatások, mint például a HVAC rendszerek fejlesztése: gépi szellőztetés [6], [7], [8], a különböző hűtés és fűtési megoldások [9], és üzemeltetés [10], [11], [12], [13], [14] hatásai a belső hőkomfortra, légminőségre, természetes fényminőségre, energiafogyasztásra melyek számos passzív tervezési stratégiával egészülnek ki [15], [16], [17], [18], [19], [20]. Passzív építészeti elemekkel akár 80%-ban lehet javítani egy épület energetikai és komfort jellemzőit [21]. Sok szakirodalomban a homlokzat optimalizációval foglalkoznak, mint például az üvegezési arány (WWR) [22], [23], [24], [25], [26], árnyékolás [27], [28], [29], [30], [31], [32], különböző épületszerkezetek, és anyagok energetikai [33], [34], [35], [36] hatásait és életciklusát (LCA) [37],[38] vizsgálják.

Azonban jóval kevesebb olyan kutatás található, mely irodaépület térszervezéssel [39], [40], [41], [42] vagy tömegformálásával, geometriájával [43], [44] foglalkozna annak érdekében, hogy optimális komfort és energia performanciát lehessen elérni. A kutatások jelentős többségét valamilyen szimulációs szoftverrel [45], [46] végzik döntéstámogatás céljából. Ezenkívül már megfigyelhetőek különböző optimáló algoritmusok alkalmazásai is [47], [48] a tervezéstámogatás során.

2.2. Probléma felvetés

Kevés olyan kutatás található, ahol komplexen, a fent említett területek mindegyikét érintve foglalkozna irodaépület optimalizációval, inkább egy-egy részterületek vizsgálata figyelhető meg. Valamint hiányos ismeret áll rendelkezésre az épületgeometria és térszervezés hatásáról és szerepéről az épületfizikai paraméterekre vonatkozóan. Ebből kifolyólag ígéretes kutatási területnek mondható a geometria szerepe az épületoptimalizálási lehetőségek között, melyre további vizsgálatok elvégzése szükséges.

2.3. A kutatás előzménye

A kutatásom egy már létező tervezési módszer továbbfejlesztéséről szól, nagyléptékű épületek, azon belül pedig, irodaépületek esetében. A kutatás alapjaként szolgáló Energia Design (ED) módszertant témavezetőm, Prof. Dr. Kistelegdi István fejlesztette ki [49]. Az előzetes ED módszertanban épületfizikai termikus-dinamikus szimulációs vizsgálatok egészítik ki az épülettervezést, és nyújt döntéstámogatást különböző koncepció verziók közül, a legoptimálisabb épület verzió kiválasztása érdekében. Az általam fejlesztett Energia Design Optimalizáció (EDOPT) fejlesztés abban tér el a korábbi módszertantól, hogy a megfelelő építészeti szabályok meghozatalával egy modellgeneráló algoritmust alkalmazok a tervezés során. Ezáltal az összes, potenciálisan lehetséges megoldás rendelkezésünkre áll. Majd a szimulációs vizsgálatok által kapott eredményeket preferencia szerint súlyozva sorrendbe állítom, így a feltételeknek megfelelő legoptimálisabb esetet meg lehet kapni.

2.4. A kutatást megalapozó valós projektfeladatok

A doktori tanulmányaim alatt részt vettem különböző projekt épületek optimalizálásában, ahol komfortmodellezéssel és szimuláció vizsgálatok elemzésével a legoptimálisabb épület verziót kerestem az ED módszer segítségével. Ezek az elemzések az IDA ICE szoftverrel végeztem. A program segítségével komfort modellezéseket, termikus-dinamikus szimulációkat, benapozás vizsgálatokat készítettem, ahol a kapott eredményeket energetikai, vizuális- és termikus komfort szinten vizsgáltam. A továbbiakban ezen projekteket és a kapott eredményeket mutatom be, melyeket felhasználva dolgoztam ki a kutatásom témáját, az EDOPT módszert irodaépületek tervezéséhez.

2.4.1. Vizuális komfort vizsgálatok - Miskolc: „Tapolca kapuja” alacsony energiaigénnyel rendelkező lakópark

A tervezési feladat Miskolcon létesítendő 11 épülettömbben, 118 lakást tartalmazó lakópark építészeti tervezésre vonatkozó tanulmányi terv készítése volt. A társasházak egy „gated community” jellegű zárt lakóparkot képeznek a területen, gépkocsival való megközelíthetőséggel. A tervezési feladat magába foglalta a gazdaságos, költséghatékony beépítést a lehető legnagyobb beépítési sűrűség tartásával. A magas beépítési sűrűség mellett lényeges megbízói igényként merült fel a külső területek, zöldfelületek változatos, igényes, magas színvonalú életteret biztosító kialakítása, sportaktivitások, szabadidő tevékenységek és

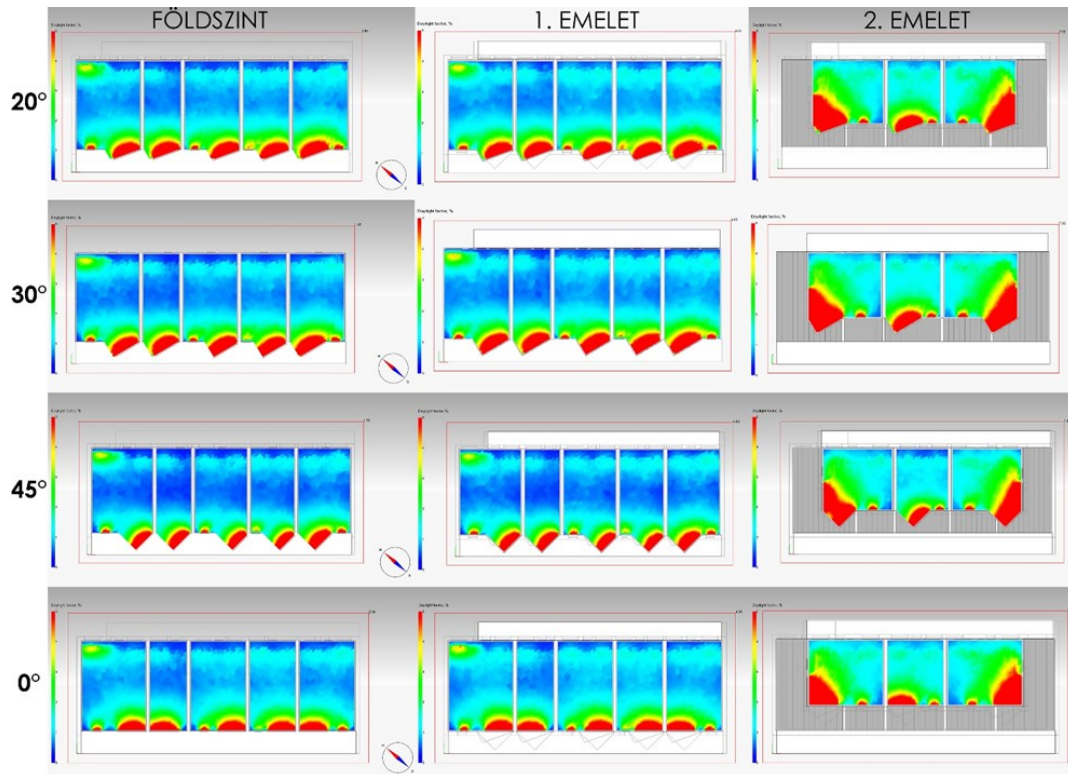
rekreáció, pihenés funkciók céljából. A lakópark projekt keretében, első lépésben az „A” jelű 13 lakást magába foglaló társasház építési engedélyezési tervét kellett elkészíteni. A beruházó a magas építészeti minőség és az említett szabad külső területek, zöldfelületek igényes kialakítása mellett energiatudatos tervezési elvek érvényesítését is igényelte. Az épületenergetikai szempontokat is felölelő tervezés keretében a hatályos nemzeti minimum épületenergetikai követelmény szint feletti magas energiahatékonyságú, a környezeti hatásmechanizmusok szempontjaiból is fenntartható „zöld” lakópark projektet volt szükséges létrehozni. Ennek függvényében az ED épületklimatikai és épületenergetikai módszere került a tervezés folyamán alkalmazásra, mely keretében az építészeti tervezés dinamikus épületfizikai szimulációkkal lett támogatva. Anyagok és szerkezeti kialakítás szempontjából költséghatékonysági és gazdaságossági szempontjait figyelembe véve napjaink aktuális, korszerű építőanyagait és szerkezeteit alkalmaztam. Vasbeton pillérvázás tartószerkezet, vasbeton födémek, továbbá a külső kitöltő falazatok és belső térelválasztó falazatok, vázkerámia téglák szerkezetek voltak tervezve az előnyös magas hőtároló képesség miatt. A magas hőkapacitással rendelkező nehéz ($\geq 400 \text{ kg/m}^2$ hőtároló épület szerkezet) épületszerkezetek nagymértékben csökkentik nyáron, hűtési üzemeltetési szezonban a hűtési energiaigényt, télen a fűtési üzemeltetési időszakban pedig a fűtési energiaigényt.



1. ábra. Lakópark látványtervei

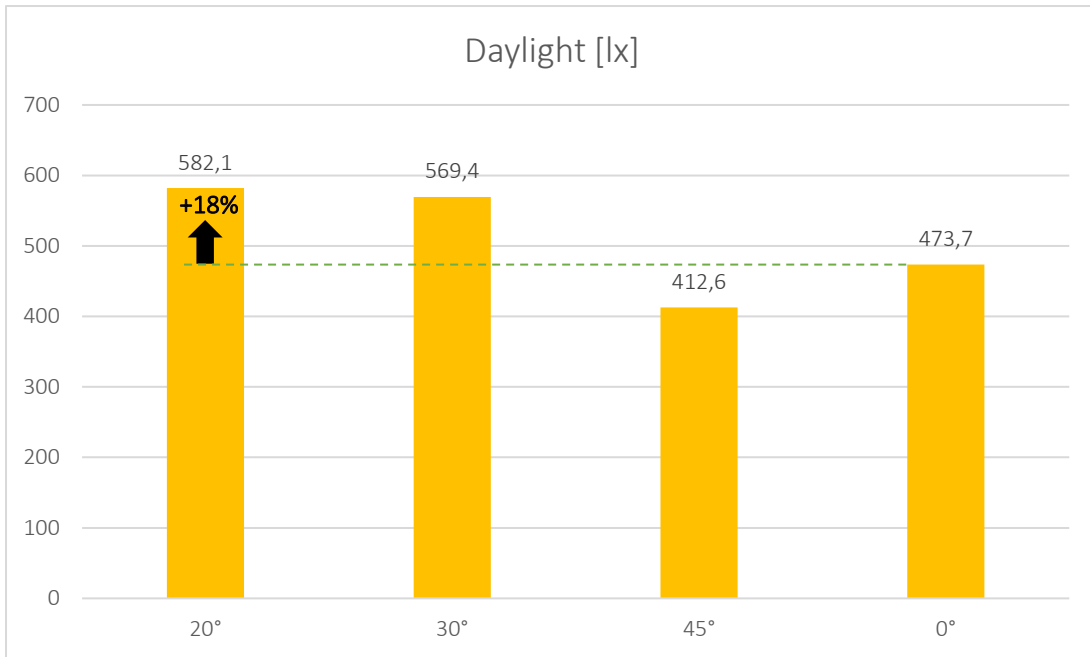
Jelen projekt keretein belül a dél-nyugati „cakkozott” homlokzat fényvizuális szimulációit végeztem, ahol azt néztem, milyen dőlésszöggel lehet elérni a vizuális komfortszint növekedést azonos hűtési energiafogyasztás mellett. Azaz a déli irányba való homlokzat beforgatás mértékének vizsgálatát végeztem. Az üvegezési arány mindegyik esetben azonos mértékű volt. A 2. ábrán látható a természetes fényeloszlás a különböző dőlésszögek (20°, 30°, 45°, illetve egyenes 0°)

esetében, minden szinten, ahol sötétkék jelöli a legsötétebb zónákat és piros a legvilágosabbakat. A szimulációkon jól látszik, hogy a legtöbb fény mennyiség a 20° és 30°-os törésű verzióknál jelentkezett. A legtöbb sötét zónát a 45°-os törésnél volt tapasztalható.

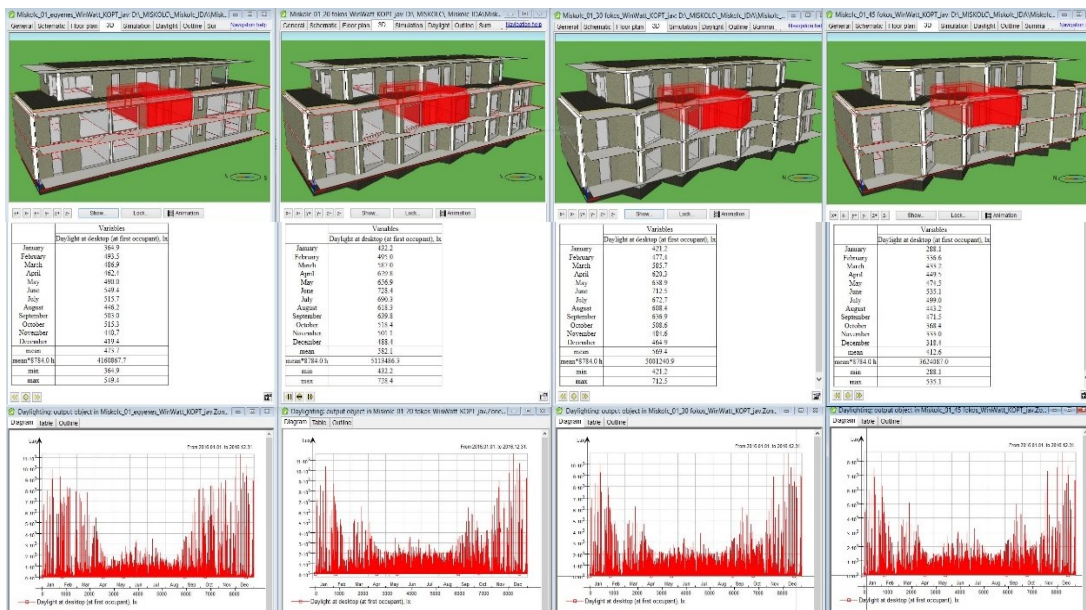


2. ábra. Természetes fényeloszlás

Pontos számokkal alátámasztva, egész éves viszonylatban nézve a nappali természetes megvilágítás mértékét a 3. ábrán látható, ahol 18%-kal jobb eredmény volt elérhető a 20°-os D-i irányú falazat befordítással, mint az eredeti egyenes homlokzattal. Ebből következtetve növelhető volt a vizuális komfort mértéke, melyet a 4. ábrán látható diagram prezentál.



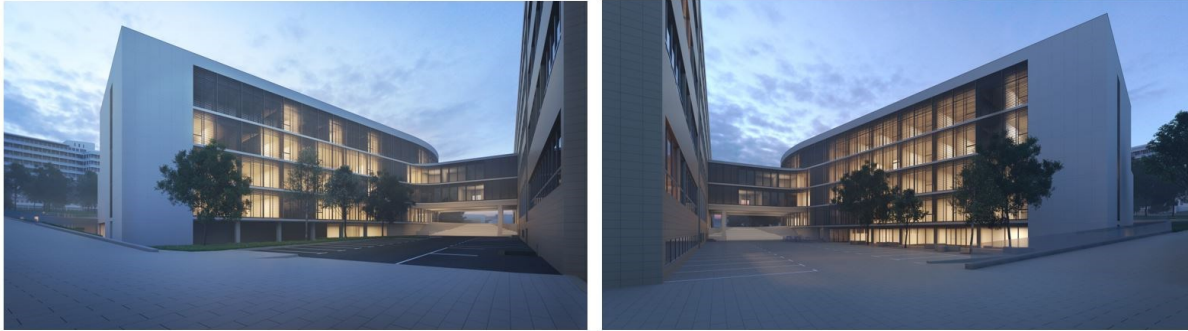
3. ábra. Daylight [lx] a különböző épületverziók között



4. ábra. vizuális komfort, nappali természetes megvilágítás mértéke éves átlagban

2.4.2. Komfort és energia szimulációk - Pécsi Tudományegyetem, Általános Orvosi Kar – Új elméleti tömb

A Pécsi Tudományegyetem, Általános Orvosi Kar – Új elméleti tömb létesítése keretében, egy kb. 12.000 m²-es épület vázlattevéti tervfázisa során végeztem épületszimulációs vizsgálatokat döntéstámogatásként. Meglévő fix peremfeltételként kellett kezelni az épület koncepcióját, térszervezését, geometriáját, tartószerkezeteit és a nyílászárók elhelyezkedését.



5. ábra. PTE-ÁOK – Új elméleti tömb látvány tervek

Épületszimulációs vizsgálatok keretében több épület verziót vizsgáltam, ahol különböző árnyékolástechnikai megoldásokat hasonlítottam össze, valamint különböző méretű nyílászárók hatásait elemeztem. Végül a hőtároló tömeg hatását befolyásoló álmennyezet szerkezet elhagyásának esetét néztem. Ezen eredményekből egy optimális modell verziót kombináltam össze melyre tettem javaslatot, mint optimális épületverzió. A vizsgált modellverziók az 1. táblázatban láthatóak.

Vizsgálat		Árnyékolási mód	Parapet magasság	Fall – ablak arány (WWR)	Álmennyezet
Modell 1	Referencia	75 cm konzol szintenként nyílászáró fölött	0 cm	Referencia helyiségben 95%, teljes épületben 20.9%	van
Modell 2	Árnyékolás módok	165 cm konzol szintenként nyílászáró fölött	0 cm	Referencia helyiségben 95%, teljes épületben 20.9%	van
Modell 3		Mozgatható külső lamellás árnyékolás	0 cm	Referencia helyiségben 95%, teljes épületben 20.9%	van
Modell 4		Külső fix függőleges lamellázat	0 cm	Referencia helyiségben 95%, teljes épületben 20.9%	van
Modell 5		Külső fix vízszintes lamellázat	0 cm	Referencia helyiségben 95%, teljes épületben 20.9%	van
Modell 6		Üvegezési arány módok	75 cm konzol szintenként nyílászáró fölött	60 cm	Referencia helyiségben 76%, teljes épületben 18,3%
Modell 7	75 cm konzol szintenként nyílászáró fölött		90 cm	Referencia helyiségben 66,5%, teljes épületben 17%	van
Modell 8	75 cm konzol szintenként nyílászáró fölött		120 cm	Referencia helyiségben 57%, teljes épületben 15,7%	van
Modell 9	Hőtároló tömeg szabadon hagyása – álmennyezet elhagyásával	75 cm konzol szintenként nyílászáró fölött	0 cm	teljes épületben 20.9%	nincs

1. Táblázat. PTE-ÁOK – Új elméleti tömb vizsgált épületmodellek

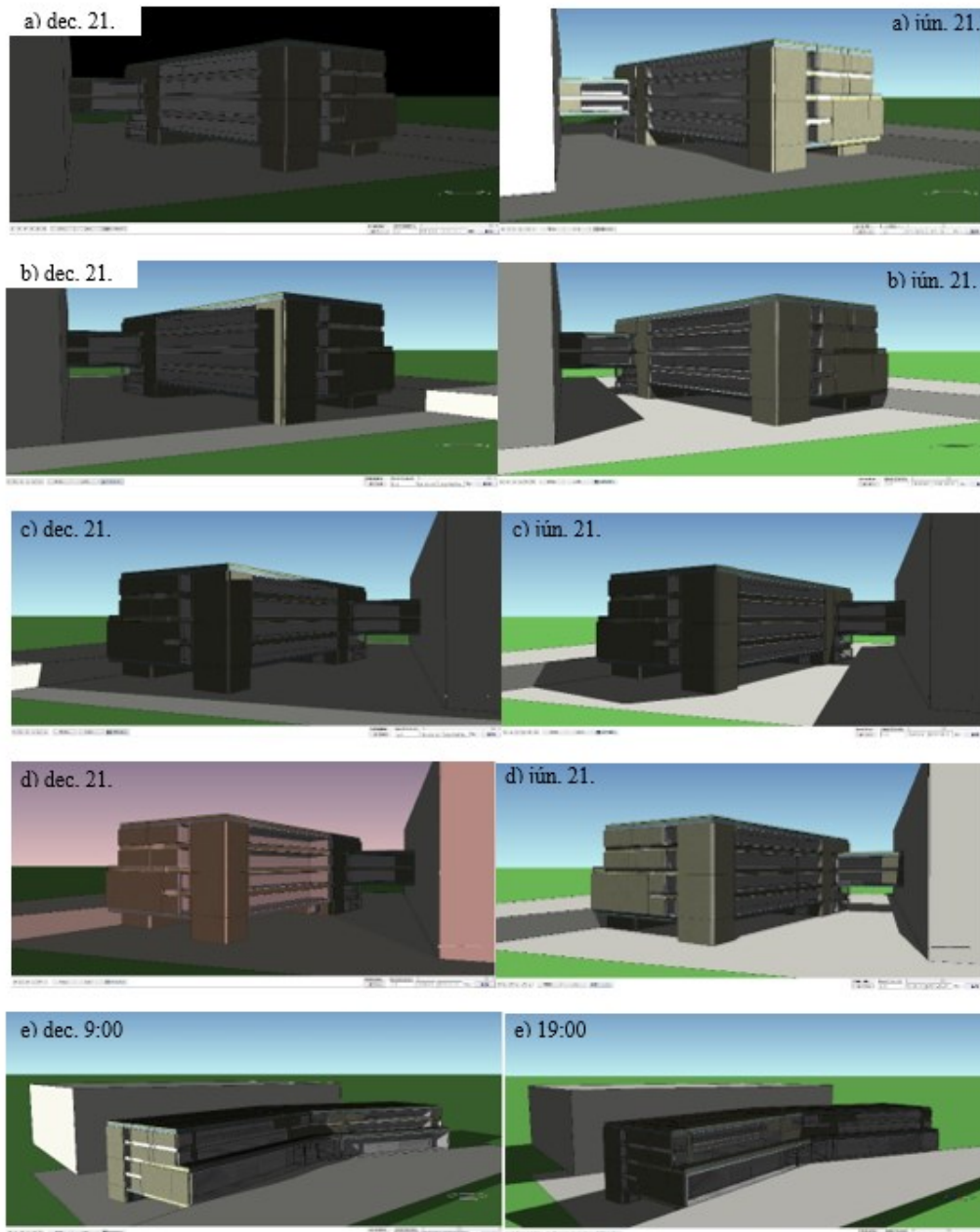
Benapozás vizsgálat

Első lépésben a geometria vizsgálatok során a természetes megvilágítottságot elemeztem, hogy javaslatot lehessen tenni árnyékoló szerkezetek alkalmazásának szükségességéről. Az épület a meglévő Orvosi kar épületéhez északi irányból kapcsolódik, ahogyan azt a 6. ábra látványterven is megfigyelhető. Ezáltal az új épületrész déli homlokzata télen nagymértékben árnyékolva van a meglévő épület által, azonban nyáron nincs. Az új épületrész „bumeráng” alakjának köszönhetően az északi oldali helyiségek is kapnak természetes megvilágítást nyáron a délelőtti

és a délutáni órákban, azonban télen nem éri természetes megvilágítottság. A benapozás vizsgálat szimulációs ábráit a 7. ábra mutatja.



6. ábra. PTE-ÁOK – Új elméleti tömb látvány terv

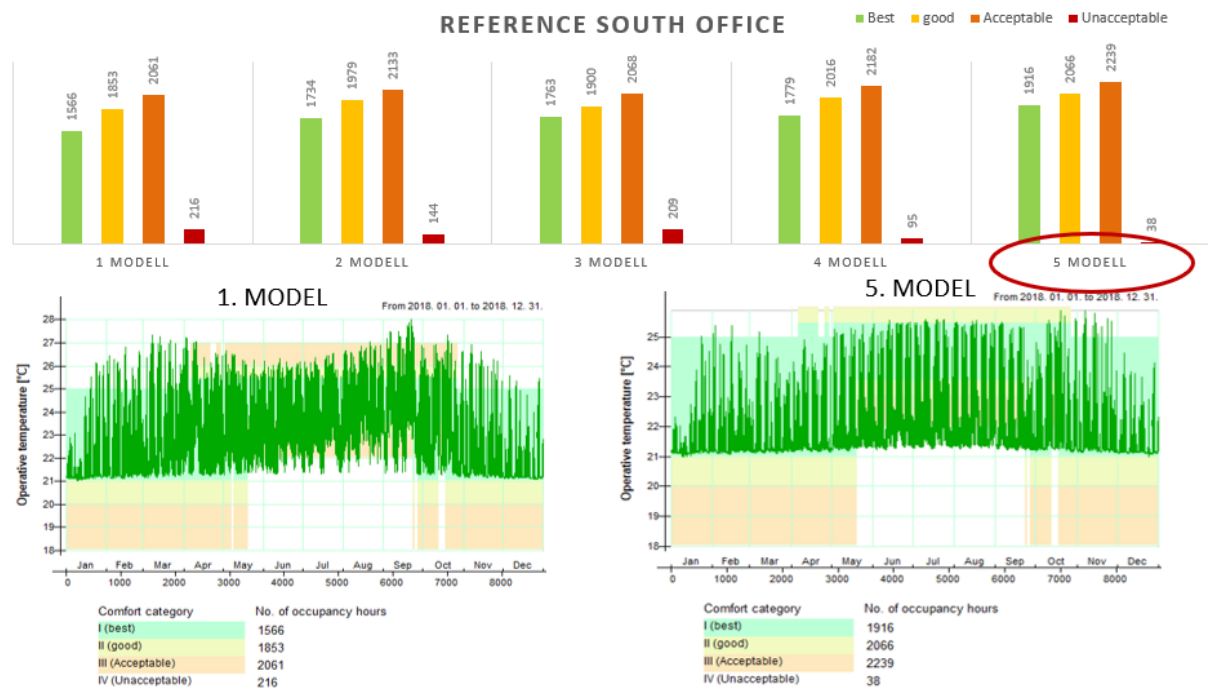


7. ábra. PTE-ÁOK – Új elméleti tömb benapozás vizsgálata

Az új épületrész geometriájából és a meglévő épülethez való elhelyezkedéséből arra lehet következtetni, hogy az év jelentős részében árnyékolva van az új épületrész, így felmerül a kérdés, hogy szükséges-e egyáltalán árnyékoló szerkezet alkalmazása.

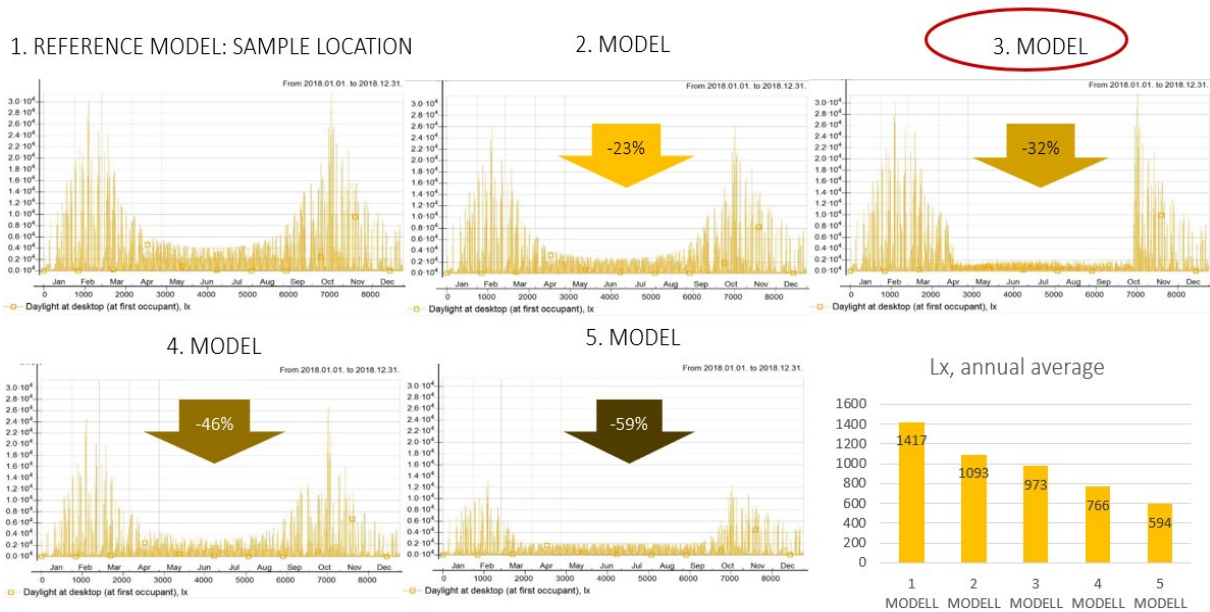
Árnyékoló szerkezet vizsgálata

A következő lépésben a különböző árnyékoló szerkezetek hatásait elemeztem hő- és vizuális komfortra, valamint energiafogyasztásra. A 8. ábrán látható a déli referencia irodahelyiségben kapott komfortos órák száma. Az 1. modell az eredeti, a 2. modell esetében a nyílászárók fölött nagyobb konzol, a 3. modellnél mozgatható külső árnyékoló szerkezet, a 4. modellnél külső függőleges fix lamella szerkezet, míg az 5. modell esetében külső fix vízszintes lamella szerkezet lett vizsgálva. Az eredményekből látszik, hogy az 5. modellnél volt tapasztalható a legkedvezőbb termikus komfort érték.



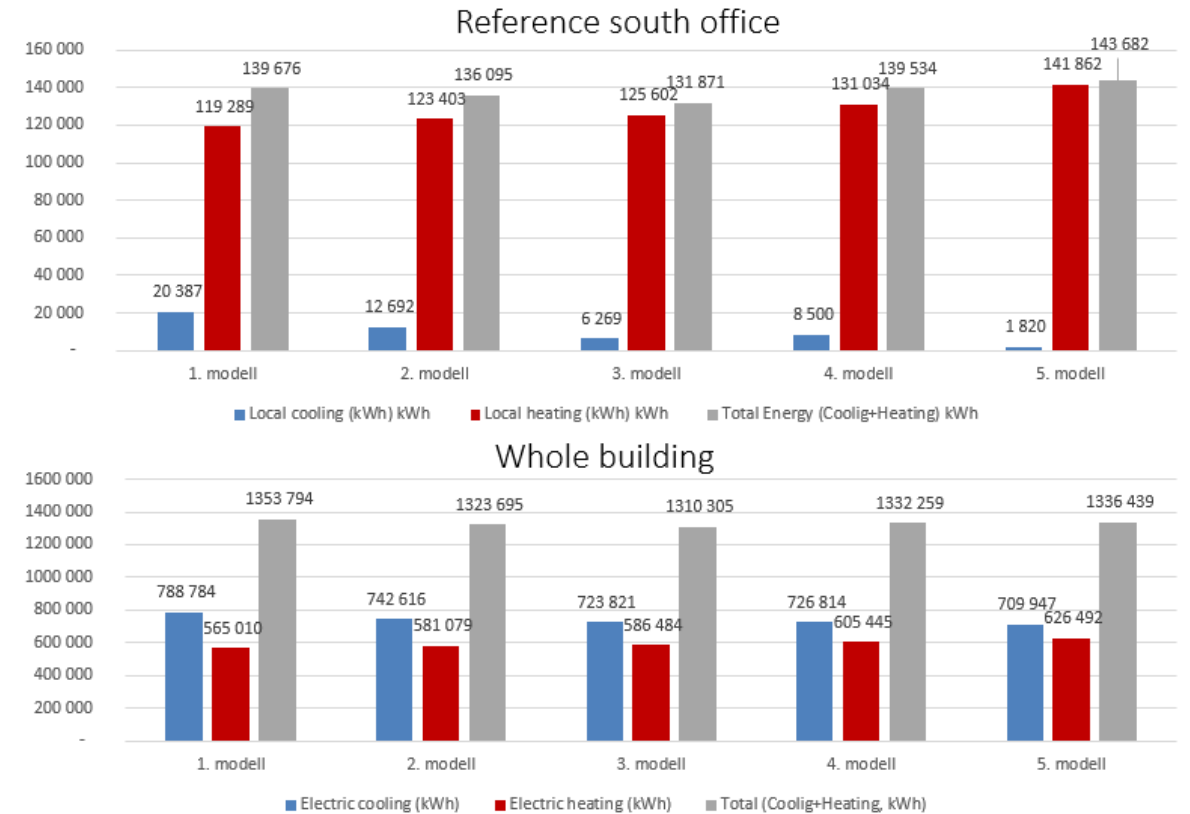
8. ábra. PTE-ÁOK-Új elméleti tömb, árnyékolás hatása a hőkomfortra

Ezt követően megvizsgáltam az árnyékoló szerkezeteket vizuális komfortra ugyanazon referencia helyiségben, melynek eredményei a 9. ábrán láthatóak. E szerint, az 5. modell túl sötétnek bizonyult, főleg a téli időszakban, ezért kompromisszum megoldásként a 3. modellt, a mozgatható külső árnyékolóval rendelkező verziót választottam javasolható megoldásnak, melynek vizuális komfort értéke ugyan kisebb, mint a referencia modellé, azonban termikus komfort szempontjából kedvezőbb eredményt mutatott.



9. ábra. PTE-ÁOK-Új elméleti tömb, árnyékolás hatása a természetes megvilágítás mértékére

Az éves energiafogyasztás mutatóinak kiértékelése a 10. ábrán látható, ahol a referencia helyiség és egész épületre nézve vizsgáltam a hűtési-, fűtési-, valamint az összes energiafogyasztás mértékének alakulását a különböző árnyékoló szerkezetek alkalmazásánál. Megfigyelhető volt, hogy a mintahelyiségben a fűtési energia a mérvadó, a nagy üvegezett homlokzat okozta transzmissziós hővesztésnek köszönhetően. A hűtési energiát tekintve akár 92%-os megtakarítás is elérhető, míg fűtésben 16%-os többlet is keletkezhet. Összes energiafogyasztást tekintve a különbség a referencia modellhez képest max. 3%, tehát a mintahelyiségek energiaigényét tekintve az árnyékolástechnika nem javít olyan nagy mértékben az eredményeken. Egész épületre nézve az adatokat már a hűtési energiaigény a mérvadó, viszont az árnyékolás itt sem befolyásolja jelentősen az értékeket. Ezért a teljes épület energetikai mutatóiban a csekély hűtési megtakarítás (4-8%) és a kismértékű fűtési többlet (3-11%) egész évre vetítve nagyjából kiegyenlíti egymást, tehát a teljes épület szintjén nem gazdaságos a költséges külső, időjárásálló árnyékolás alkalmazása, helyette a benapozásnak kitett helyiségekben belső árnyékoló elhelyezése volt javasolható.



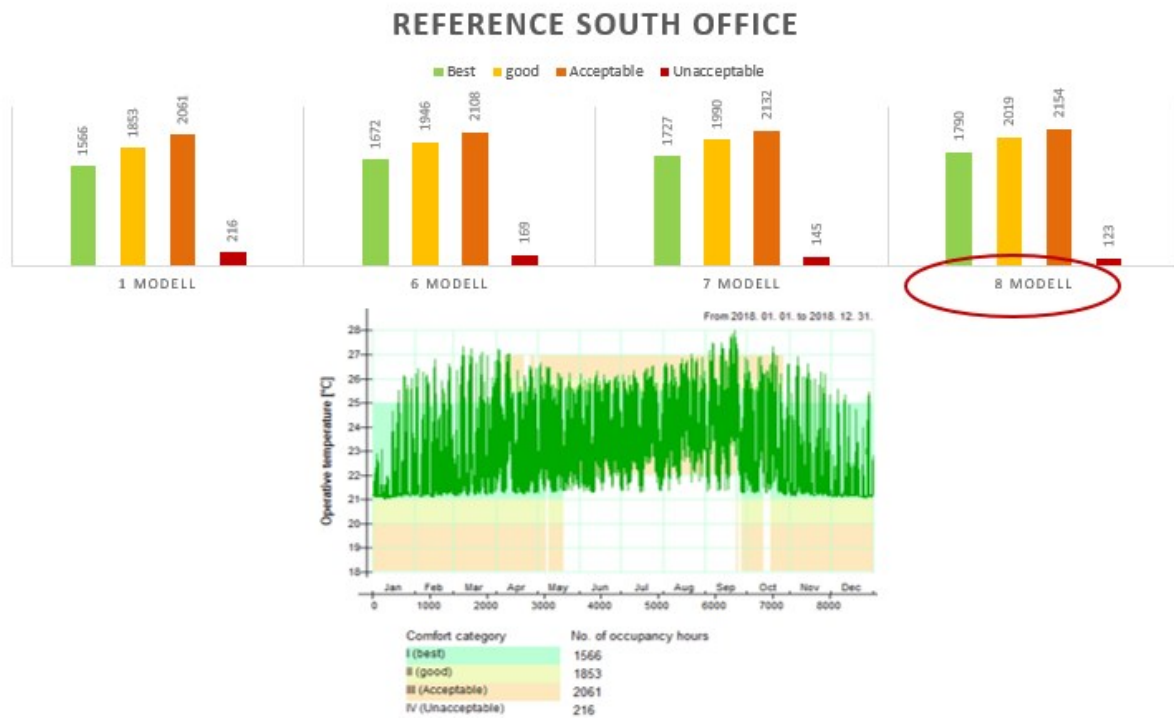
10. ábra. PTE-ÁOK-Új elméleti tömb, árnyékolás hatása energiafogyasztás mértékére referencia helyiségben és egész épületre nézve

Összegezve kihangsúlyozandó, hogy az árnyékolástechnika a termikus komfort szempontjából bizonyos esetekben (D-i és DK-i mintahelyiségek) egyértelmű javulást eredményezett, de vizuális komfort szempontjából minél hatékonyabb az árnyékolás megoldása, annál jobban csökken (összesen kb. 59 %-ot) a természetes megvilágítás erőssége a mintahelyiségekben. Energetikai szempontból az egész épület használati energiaigényének tekintetében nem hozott érzékelhető megtakarítást az árnyékolástechnika, - a hűtés minimális mértékben magasabb árnyékolás nélkül, mely messze alacsonyabb életciklusra vonatkoztatott energiaigényt és környezetkárosító hatást (LCA) jelent, mint az árnyékolástechnikai szerkezetek előállítása és megvásárlása.

Üvegezési arány vizsgálata

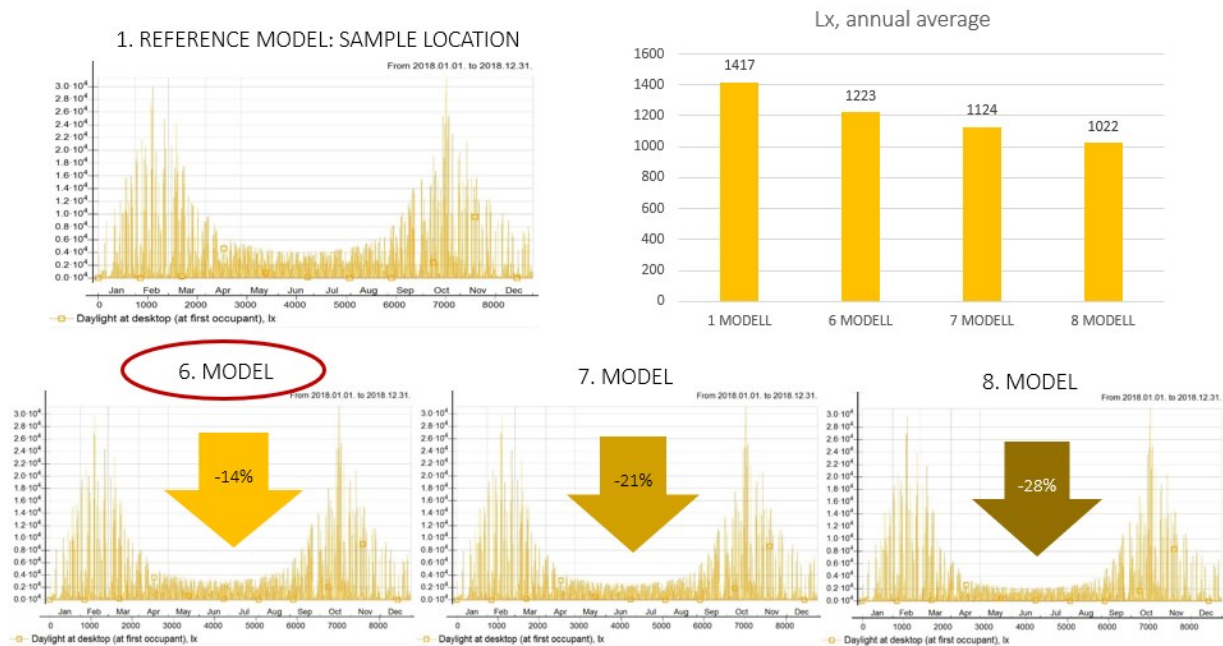
Az üvegezési arány vizsgálatánál 3 különböző parapet magasságú üvegezést vettem össze az eredeti modellel, ahol nincs parapet magasság, azaz földig érő nyílászárók vannak. A 6. modell 60 cm, a 7. modell 90 cm, míg a 8. modell 120 cm parapetmagassággal rendelkezett, árnyékolás

nélkül. A termikus komfort vizsgálat a kiválasztott déli tájolású mintahelyiségben nagyjából azonos mértéket mutatott mindegyik esetben az eredeti modellhez képest. A legjobb adatokat a 8. modell mutatta, a 120 cm magas parapettel, ahogyan azt a 11. ábrán is látható. Ebben az esetben a legkisebb a homlokzati üvegezési arány (57%), tehát a legkisebb a nyári szoláris hőterhelés, ugyanakkor ez bizonyos mértékben hátrányos télen, a természetes megvilágítás és a szoláris hőnyereség csökkenés miatt. Általánosságban kijelenthető, hogy a DK-i és D-i tájolású mintahelyiségek termikus komfort szintje a parapet magasztással javultak.



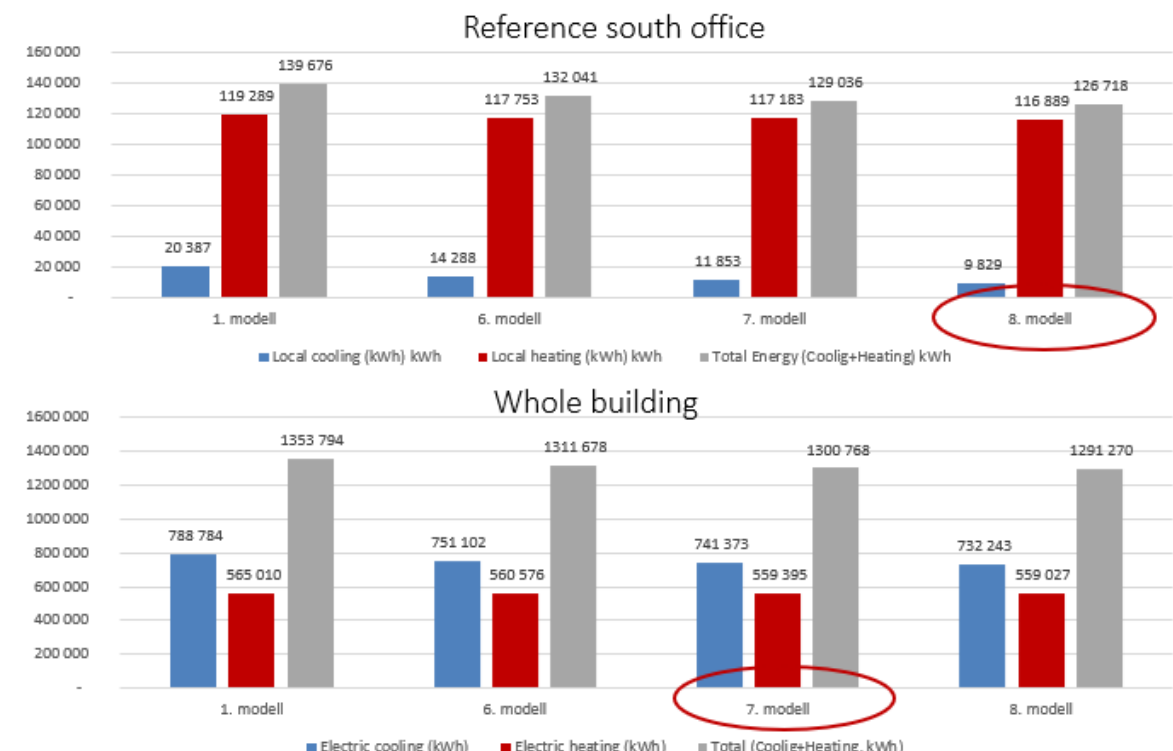
11. ábra. PTE-ÁOK-Új elméleti tömb, WWR hatása hőkomfortos órák számára

A vizuális komfort kiértékelése a 12. ábrán figyelhető meg, ahol a 6. modell (60 cm parapet) eredményei a legkedvezőbbek a többi verzióhoz képest. A 0 cm helyett 60 cm parapet kialakítással (95 % helyett 76 % homlokzati üvegarány) éves szinten 14%-kal kevesebb fény jutott be az 1.-es modellhez képest, míg a 7. modell 90 cm magas parapet megoldásnál (66,5 % homlokzati üvegarány) kb. 21%-kal, a 8. modell 120 cm magas parapet esetnél pedig (57 % homlokzati üvegarány) kb. 28%-kal csökkent a természetes megvilágítás erőssége a belső terekben.



12. ábra. PTE-ÁOK-Új elméleti tömb, WWR hatása vizuális komfortra

Az energiafogyasztás mértékének alakulását a 13. ábra szemlélteti, ahol a referenciahelyiségben nézett adatokból leolvasható, hogy az eredeti modellhez képest a 6. modellnél 30%-os, a 7. modellnél 42%-os, míg a 8. modellnél 52%-os hűtési energia megtakarítás volt elérhető a parapet magasztással. A fűtési energiamutatókban kismértékű csökkenés volt megfigyelhető, míg összesített energiaigény szempontjából akár 10%-os volt a megtakarítás. Az üvegezési arány egész épületre nézve nem befolyásolta jelentősen az energiaigényeket. Hűtésben kb. 5-7%-os, fűtésben 1-2%-os, összesítve max. 5%-os használati hőenergia igény csökkenést jelentett.



13. ábra. PTE-ÁOK-Új elméleti tömb, WWR hatása energiafogyasztás mértékére referencia helyiségben és egész épületre nézve

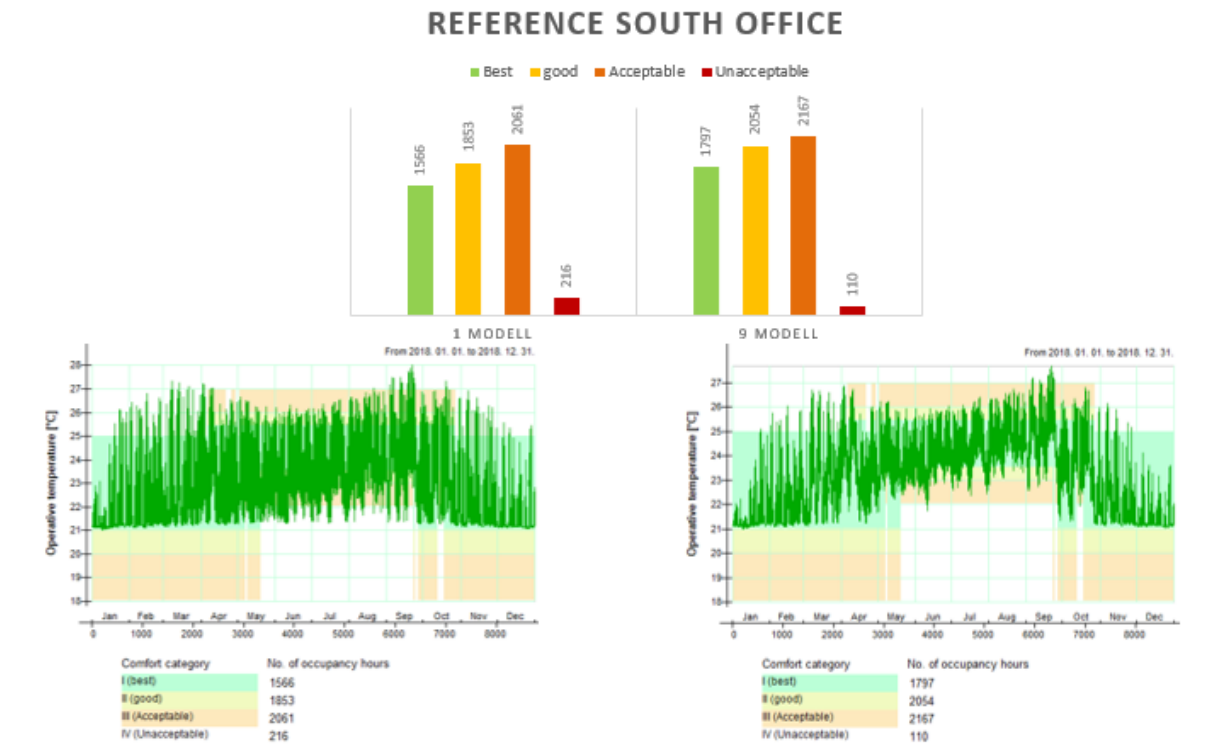
Összességében megállapítható, hogy a kismértékű energiaigény csökkenés mellett, jelentős bekerülési költségmegtakarítást lehetett elérni, kevesebb üvegezett felületek kialakításával. Mivel a 8. modell érte el a legjobb eredményeket, a 120 cm-es parapet magasságával, mégis építészeti szempontból a 90 cm-es parapet magasságú 7. modell alkalmazása javasolt.

Hőtároló tömeg hatásának vizsgálata, álmennyezet elhagyásával

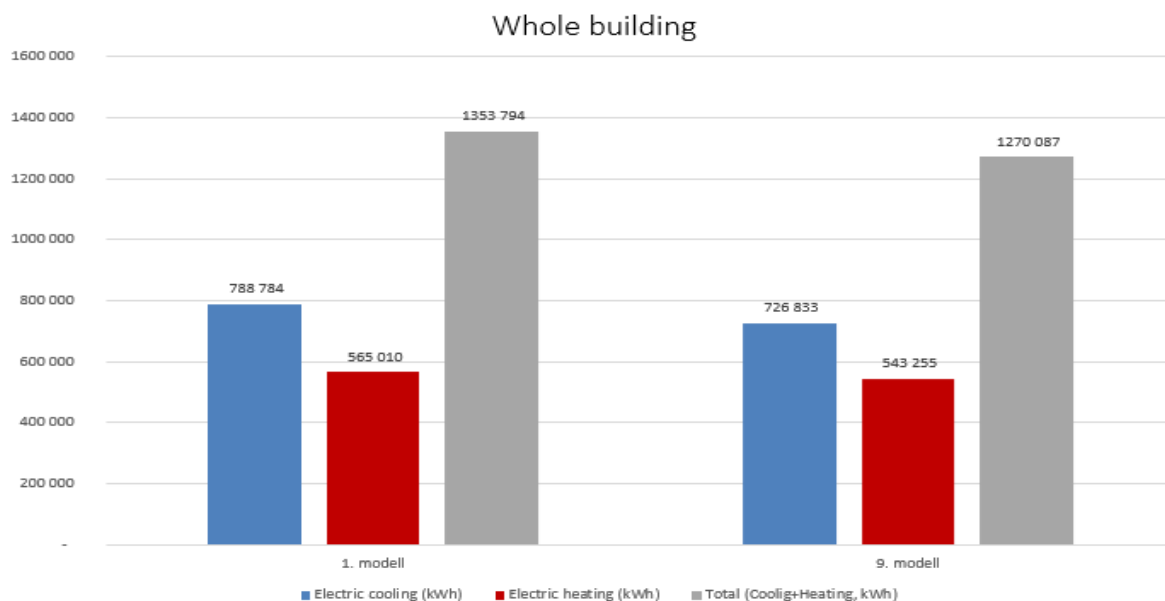
Ebben a fejezetben az épület vasbeton födém szerkezetének hőtároló tömeg hatását vizsgáltam az álmennyezet szerkezet elhagyásával. A 9. modell abban tért el az eredeti 1. modelltől, hogy nem tartalmazott álmennyezetet, így a vasbeton szerkezetek szabadon lettek hagyva.

Termikus komfort karakterisztikák a dél-keleti, és nyugati tájolású helyiségekben hasonló értékeket mutattak az eredeti modellhez képest, azonban a déli mintahelyiségekben mért

adatokban jelentős javulás volt tapasztalható az álmennyezet elhagyásával, amit a 14. ábra szemléltet.



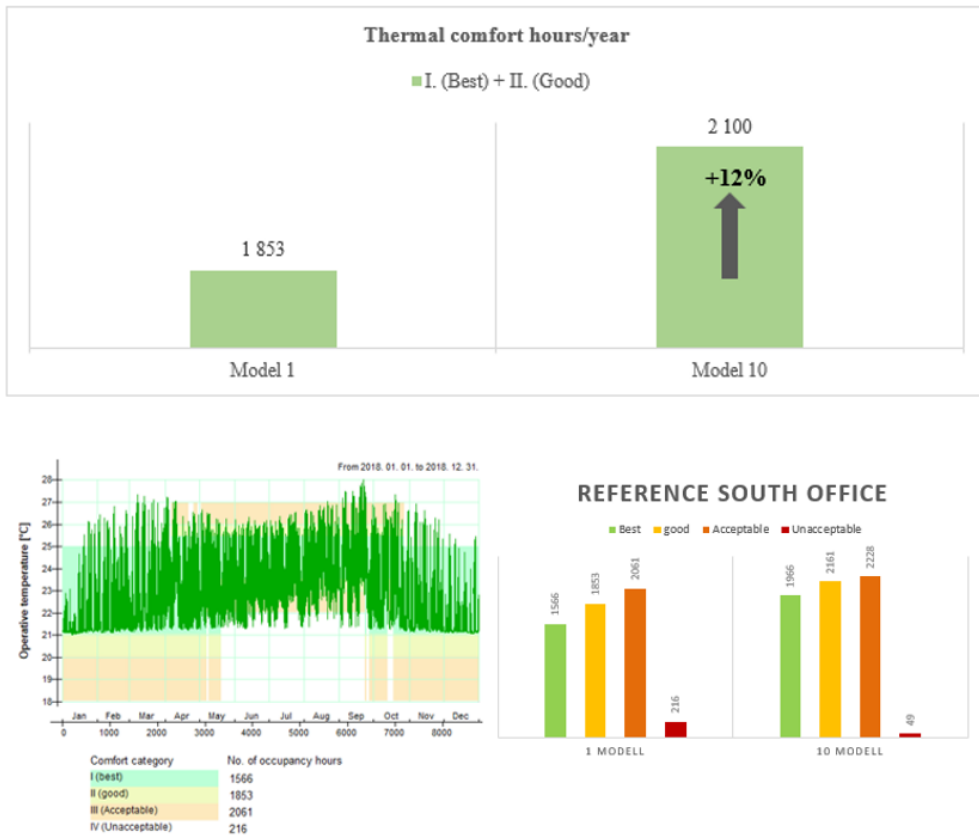
Az energiaigény mutatókat egész épületre vizsgáltam, mely a 15. ábrán látható. Leolvasható, hogy hűtésben 8%-os, fűtésben 4%-os és összesítve kb. 6%-os megtakarítás volt elérhető a hőtároló tömeg „felszabadításával”. Tehát az eredmények az álmennyezet elhagyását igazolták, mely bekerülési költségeket is csökkenti. Azonban, ha gépészeti rendszerek kialakítása azt kívánja, hogy esztétikai takarás szükséges, a javasolt megoldás vagy lokálisan kialakítani álmennyezetet, vagy áttört álmennyezet alkalmazása a mennyezeti födém minél nagyobb felületének szabadon hagyásával.



15. ábra. PTE-ÁOK-Új elméleti tömb, álmennyezet elhagyásának hatása energiafogyasztás mértékére egész épületre nézve

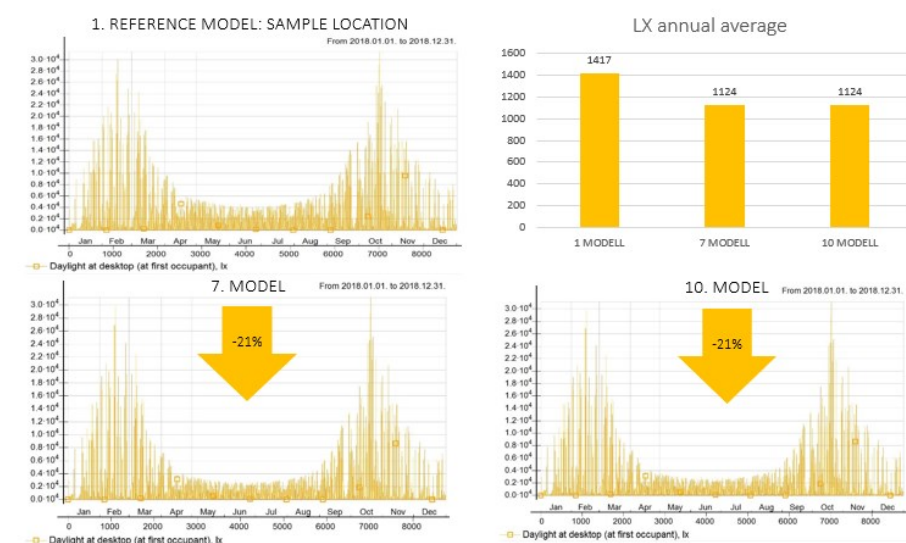
Javasolt épületmodell

A fenti vizsgálatok tapasztalataiból egy optimális épületmodell verzió kidolgozását végeztem el, mely a 10. modell elnevezést kapta. A 10. modell külső árnyékolás nélküli, 90 cm magas parapetű nyílászárókkal rendelkezett, álmennyezet nélkül. A hőkomfort vizsgálatok során a 10. modell mintahelyiségeiben a komfortos órák osztályozott mennyiségi eloszlása közel azonos volt a referencia modell (1. modell) mintahelyiségeiben mért adatokkal. A déli helyiségekben a mérések azonban jelentős javulást eredményeztek az 1. modellhez képest, a felszabadított hőtároló tömeg és az üvegezett felületek csökkentésének hatása miatt, ahogyan azt a 16. ábra is szemlélteti.



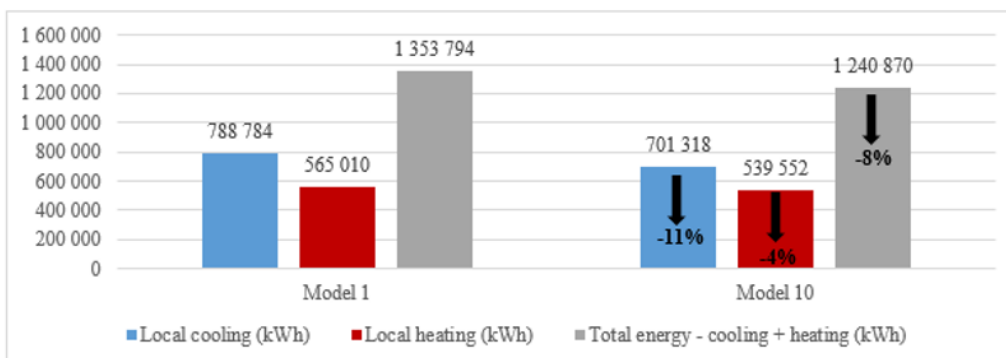
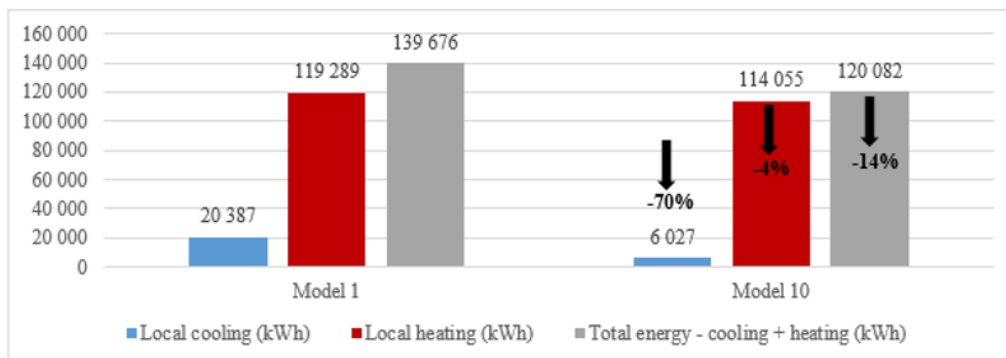
16. ábra. PTE-ÁOK-Új elméleti tömb, hőkomfort eredmények a déli tájolású mintahelyiségben az eredeti és a javasolt épületmodell esetében

A vizuális komfort értékek a javasolt 10. modell esetében megegyeztek a 7. modell eredményeivel, az azonos üvegezési és árnyékolási megoldások miatt (17. ábra).



17. ábra. PTE-ÁOK-Új elméleti tömb, vizuális komfort eredmények az eredeti és a javasolt épületmodell esetében

Energiafogyasztás szempontjából kapott eredmények a 18. ábrán láthatóak, miszerint a mintahelyiségben 70%-os hűtési- és 4%-os fűtési energiaigény csökkenés volt tapasztalható. Ez a hőtároló tömeg nyári jótékony „hűtőhatásának”, valamint a csökkentett üvegezési arányból következő nyári szoláris hőterhelés csökkenésnek köszönhető. Ugyanakkor a fűtés kisebb mértékű javulása a parapet alkalmazásával okozott téli alacsonyabb szoláris nyereségnek tudható be. Összesített energiaigény szempontjából 14%-os megtakarítást lehetett elérni, az összes eddigi esethez képest a legnagyobb mértékben. Egész épület vizsgálva a hűtési energia 11%-os, a fűtési energia pedig kb. 4%-os csökkenése figyelhető meg a 10. modell esetében az 1. modellhez képest. Összesített energia szinten kb. 8%-os megtakarítást lehetett elérni az 10. modellnél, ami 112.880 kWh/a fogyasztást jelent éves szinten, üzemeltetési költségek tekintetében kb. 5.000.000.- HUF (kb. 12.500.- EUR) megtakarítást lehet elérni. Az üzemeltetési költségek csökkentése mellett jelentős szerkezeti és bekerülési költségcsökkentés is elérhető, a kevesebb üvegezett felület alkalmazásával és a költséges külső árnyékoló szerkezetek, valamint az álmennyezet elhagyásával, ami akár 100.000.000.- HUF (kb. 250.000.- EUR) -os beruházási költségcsökkentést jelent.



18. ábra. PTE-ÁOK-Új elméleti tömb, energiafogyasztás mértékére az eredeti és a javasolt épületmodell esetében

2.5. Fejezhez tartozó tézisek:

T.1. Az Energia Design (ED) módszerben alkalmazott épületfizikai szimulációs vizsgálatok kiegészítő szerepe az építészeti tervezés korai szakaszában energetikai adatokkal képes alátámasztani és kiválasztani több eset közül a peremfeltételeknek megfelelő épületkombinációt. A módszer döntés támogatásként működik, azonban nem képes javaslatot tenni az összes lehetséges optimális esetre, ezért továbbfejlesztése szükséges.

- A szabadalmi jogokkal védett ED módszer különböző tervezési fázisokban nyújt döntéstámogatást, energiafogyasztás mérséklése és egyéb épületszerkezeti megoldások alkalmazásának céljából a lehető legmagasabb komfortszint elérése mellett.
- Megállapítottam, hogy az ED szakmai tapasztalatokon alapul, 1-2 optimális esetet kínál, melyek nem feltétlenül tartalmazzák garantáltan az összes optimális megoldást, mivel korlátozott idő- és munkaráfordítás mellett, erre a módszer nem alkalmas.
- Általánosságban az volt tapasztalható, hogy már az épületgeometria és a térszervezés meglévő fix peremfeltételként jelentkezett, ezért csak kiegészítő passzív építészeti megoldások kombinálásával lehetett jobb eredményeket elérni. A módszer továbbfejlesztése vált szükségessé ahhoz, hogy az abszolút optimális esetet megkaphassuk.
- Megállapítottam, hogy a passzív tervezési stratégiák - geometria, a WWR, az árnyékolás, valamint a hőtároló tömeg - szerepe kulcsfontosságú egy épület komfort és energia mutatóiban. Az eredményül kapott adatokból kiértékelhető, mekkora mértékű bekerülési és üzemeltetési költséget, illetve energiafogyasztást lehet megtakarítani.
- Azonban nincs elég ismeret és további kutatások szükségesek az épületgeometria és a térszervezés szerepéről az energia-komfort paraméterekben.

3. EDOPT MÓDSZER: IRODAÉPÜLET TERVEZÉSI MÓDSZERTAN FEJLESZTÉSE

A kutatásban a korábban említett optimalizálási területeket összefoglalva, komplexen foglalkozok irodaépület tervezési módszer fejlesztésén. Alapvetően az épületgeometriából indultam ki, ahol azt vizsgáltam, milyen hatással bír a forma az energiafogyasztásra és üzemeltetésre, valamint hő- és vizuális komfortra. Majd ezt tovább gondolva a belső térszervezést is vizsgáltam, ahol a mai trendeknek és használatnak megfelelő hasznos terek elrendezésének lehetőségét elemeztem. A cél, hogy a fő energetikai problémákat az épület oldja meg, a gépészet pedig kiegészítő szerepet kapjon. Jelen kutatás arra fókuszált, hogyan lehet az építészeti tervezés „DNS-kódjával” a térszervezés és tömegforma alakításával az irodaépület tervezést a hő- és vizuális komfort, illetve az energiafogyasztás tekintetében optimalítani. Az optimalizáció során első lépésben egy modellgeneráló algoritmus kidolgozását végeztem, ahol Backtracking módszer segítségével matematikai kombinatorikus algoritmust alkalmaztam az építészeti tervezés során. Építészeti szabályok kidolgozása vált szükségessé, majd ezek lefordítása modellgeneráló algoritmus számára, hogy létrejöhessen az összes lehetséges, optimális megoldás, melyek megfelelnek a kritériumoknak.

Az intelligens rendszerek kialakításának egyik motivációja az, hogy bizonyos feladatokat emberi hatékonysággal lehessen megoldani nagyon rövid idő alatt, olyan esetekben is, amikor a feladathoz kapcsolódó számítási igény lényegesen meghaladja az emberi lehetőségeket. Az ilyen mérnöki feladatok egy része vagy konkrét keresés (indexek, cache), vagy valamilyen keresési feladatra visszavezethető optimalizálás jellegű megoldást igényel. A keresés önmaga több lehetséges, ismert értékű eset vagy megoldás közül egy kiválasztása, amely általában véve valamilyen szempontból a legjobb. A keresési feladatok megoldására keresési algoritmusokat szükséges használni, melyek bemenete a probléma, kimenete pedig a megoldás, ami a keresési tér egy konkrét pontja, vagy a keresési tér egy pontjába vezető út. A probléma megfogalmazásához szükséges az állapottér meghatározása, amely tartalmazza a lehetséges állapotokat, a hozzájuk tartozó tulajdonságokkal együtt. Ezen állapotok között található a kiindulási állapot és a lehetséges végállapot (vagy végállapotok). Ezen végállapot bizonyos esetekben előre meghatározható konkrét formában is, más esetben a megállapításához elfogadási feltétel kell, hogy tartozzon. Az állapotokon kívül ismerni szükséges még az állapotok közötti átmenetet is, azaz azon műveletek halmazát, amely az adott állapottéren belül alkalmazható.

Ebben az értelemben a megfogalmazott építészeti optimalizációs feladat is keresési feladatra vezethető vissza, ahol adott irodaépület verziók közül kerestem azt az esetet, amely optimális energia és komfort teljesítménnyel rendelkezik. A szakirodalmakban foglalkoznak különféle algoritmusok alkalmazásával az építészetben, azonban ez a kutatás abban tér el, hogy ez térszervezésen és épületgeometrián alapul. Az algoritmusok alkalmazásának lehetősége jelentős segítséget képes nyújtani az építészeti tervezés során, azonban nem helyettesítheti a tapasztalatokon alapuló szakképzett mérnöki gondolkodásmódot, nem is ez a cél, csupán olyan lehetőségeket is feltár ez a módszer, melyekre adott esetekben nem is gondolnánk.

Amint létrejött az összes lehetséges modell, csoportba rendszereztem energetikai osztály szerint, ezt követően a modellek passzív építészeti elemekkel egészültek ki, különböző üvegezési arányt és tájolást kaptak. Majd dinamikus-termikus épületszimulációs vizsgálatokat végeztem, ahol az épület megfelelő üzemeltetést kapott. A szimulációs eseteket sorrendbe helyeztem energiafogyasztás és komfort eredmények szerint, melyekből az optimális épületmodellt kiválasztottam a felhasználói igényeknek megfelelő súlyozási rendszer segítségével.

3.1. A kutatás célja

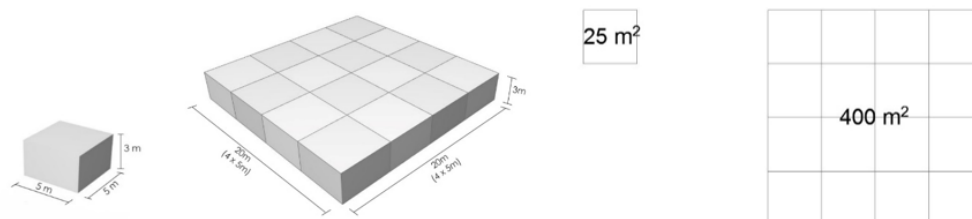
A kutatásom célja, egy olyan tervezési módszertan fejlesztése, mely döntéstámogatásként meghatározza a peremfeltételeknek megfelelő összes lehetséges eset közül a legoptimálisabb verziót nagyléptékű épülettervezés során, figyelembe véve az energetikai és a komfort paramétereket. Emellett a leglényegesebb passzív építészeti performanciát kerestem, hogy következtetéseket lehessen levonni az épületgeometria szerepéről az épületfizikai tényezőkre vonatkozóan. Értekezésben egy alkalmazott kutatást mutatok be, ahol alátámasztottam és fejlesztettem a kapcsolódó elméleti kutatást [50], melyben javaslatot tettem egy módszer alkalmazhatóságára egy átfogó rendszerbe. Az általam végzett alkalmazott kutatási téma az optimális irodaépület fejlesztés, mint komplex épület. Céлом, az EDOPT módszer alkalmazhatóságának lehetősége irodaépület tervezésnél és ezáltal a jövő irodaépületeinek tervezési módszerére javaslatot tenni, építészeti, energetikai és épületkomfort szempontrendszer alapján. A megfelelő építészeti szabályok meghatározásával, a keresési tér szűkítés alkalmazásával irodaépület tervezési optimalizációt véghez vinni.

4. EDOPT KUTATÁSI PROJEKT – IRODAÉPÜLET PEREMFELTÉTELEK, ÉPÜLETKONFIGURÁCIÓ GENERÁLÁSI SZABÁLYOK

Jelen fejezetben egy példamodell segítségével mutatom be az EDOPT módszert alaprajz konfigurációk generálására és irodaépület tervezés fejlesztésére. A kutatás lényegében klímazóna alapú irodai térszervezésről szól, melyből kiindulva alakítottam ki a komplett épületet. Ehhez szükséges volt a funkciókat meghatározni, összekapcsolni, elhelyezni. Az eddig végzett termikus szimulációs vizsgálatok során nyert tapasztalatokból építészeti szabályok meghatározásával folytattam az EDOPT módszer kidolgozását.

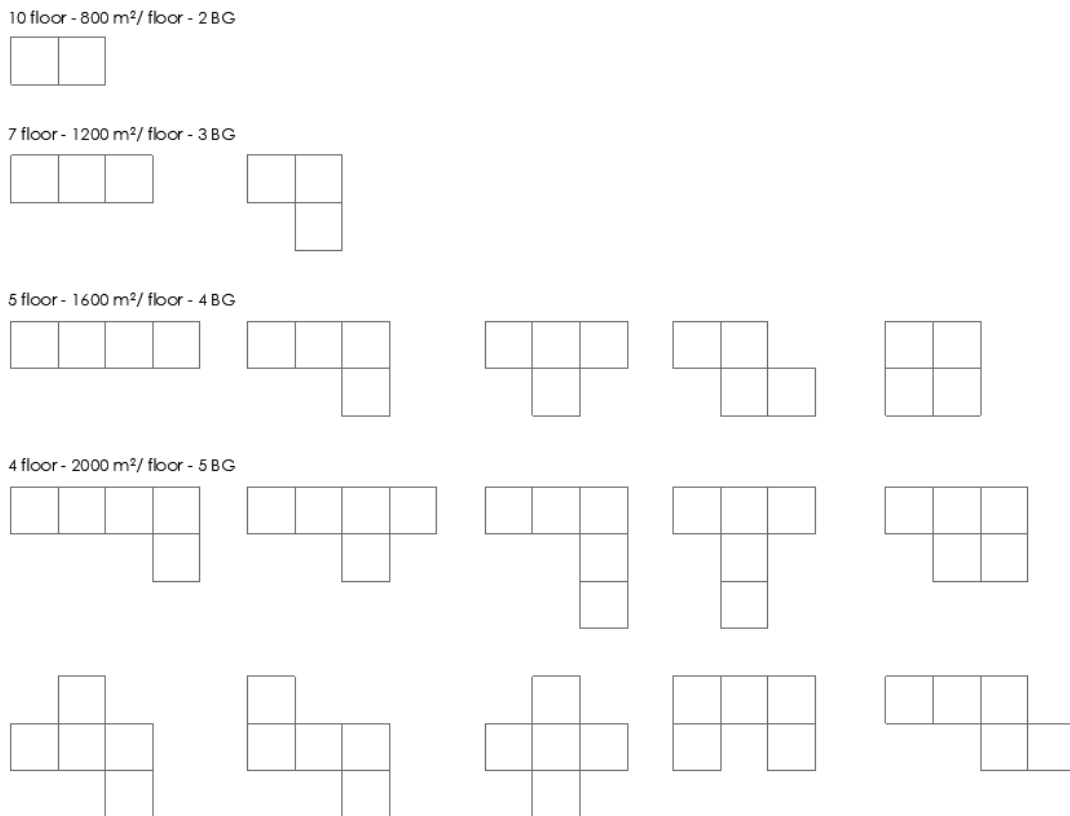
4.1. Építészeti peremfeltételek, szabályok alkotása

Először szükséges volt meghatározni egy átlagosnak mondható irodaház méretet, mely lehetőséget nyújt, további vizsgálatokra összehasonlíthatóság szempontjából, valamint validációra. Jelen esetben ezt a méretet 8000 m^2 hasznos alapterületben határoztam meg, ahol a szintek száma 4 és 10 között van. Az irodaépület alapegységekből (BU) épül fel, melynek mérete $5 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ (szélesség \times mélység \times magasság), alapterülete 25 m^2 . Ez a rugalmasan kombinálható térméret jellemző általános irodahelyiségeket képvisel, továbbá a természetes megvilágíthatóság és a passzív szellőztetés szempontjai miatt is előnyös, például egy egység széles irodaszekciók kialakításánál. A BU-ból továbbá összeállítható számos egyéb irodaszekció alakzat 10 m , 15 m és 20 m térmélységekkel is. 4×4 db BU-ból, úgy nevezett alapsoportok (BG) lettek alkotva (19. ábra.), annak érdekében, hogy a nagyléptékű épület modulokból történő tervezés kezelhetőbbé váljon. A BG alapterülete 400 m^2 , így az épület minimális hossza 20 m . Az épületen belül 1 dilatáció megengedett, így a maximális épülethossz 80 m . Jelen vizsgálat esetében nincs eltérés az egyes szintek alaprajzában, tehát minden emelet teljesen megegyezik az alatta és a felette lévővel.



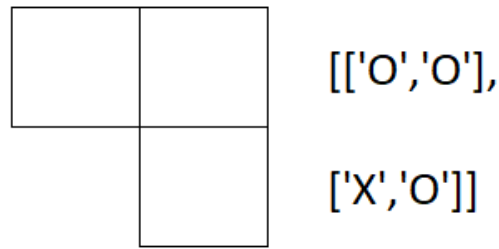
19. ábra. BU és BG

A 4 szintes épület esetében 2000 m²/szint alapterület alakítható ki. Ez a méret 5 BG megfelelő összekapcsolását jelenti szintenként. Az alapcsoportok egymáshoz teljes oldalukkal kell, hogy csatlakozzanak, mivel a féloldalas eltolás gazdaságtalan terek és bonyolultabb szerkezeti megoldások kialakulását idézheti elő, a kutatásban egyszerű geometriák kialakítására lett törekedve. Ennek megfelelően a 20. ábrán. láthatóak a lehetséges épületformák alaprajzi sémái, amelyek figyelembe lettek véve. Ezen formák a tükrözés és forgatás tekintetében egyedinek tekinthetők, további eseteket nem szükséges figyelembe venni.



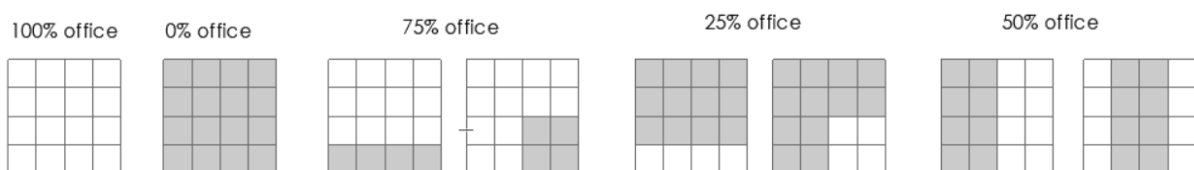
20. ábra. 2 - 3 - 4 és 5 db BG felhasználásával kialakított épületformák

A legegyszerűbb adatszerkezet, amelyben több, azonos típusú adat tárolható, a tömb. A tömb tárolási struktúra a keresési és elérési időt is minimalizálja. Ennek megfelelően az épületformákat kétdimenziós tömbökben tároltam, lásd 21. ábra. Az épülethatáron belüli alapcsoportokat „O” jelöli, míg az épülethatáron kívüli részeket „X” jelöli.



21. ábra. Egy 3 BG-ból álló lehetséges épületforma és adatstruktúrája

A BG funkcionalitását tekintve lehet iroda vagy átrium. A „jövő irodája” koncepció alapján a teljes épületen belül 50% zárt irodater, a további épületrész pedig multifunkciós átrium, azaz közlekedő, továbbá olyan terek, amelyek projektmunkákra, flexibilis foglalkoztatásra, rendezvényekre, brainstorming tárgyalásokra stb. alkalmasak. Későbbi vizsgálatok szempontjából ezen 50%-50% arányszámon az irodaterék javára lehetséges változtatni. Az épület bejárata a földszinten található átriumban van, azaz az átriumnak a külvilággal kapcsolódnia kell. Tekintettel arra, hogy az alaprajzi kiosztás minden szinten azonos, így az épületen belül az átrium függőleges irányban „végigfut”, így funkcionalitása mellett energetikailag is megfelelő kezelhetőséget biztosít – pl. passzív szellőztethetőség és éjszakai hűtés. Fontos szempont továbbá a térszervezés tekintetében a túlzottan bonyolult, labirintus szerű, kígyózó belső terek kialakulásának elkerülése, ezért a 22. ábrán. bemutatott BG-ok (8 darab alapcsoport) lettek csak figyelembe véve a vizsgálat során. Az ábrán a világos részek jelölik az iroda funkciót és a szürke részek jelölik az átrium részeket.

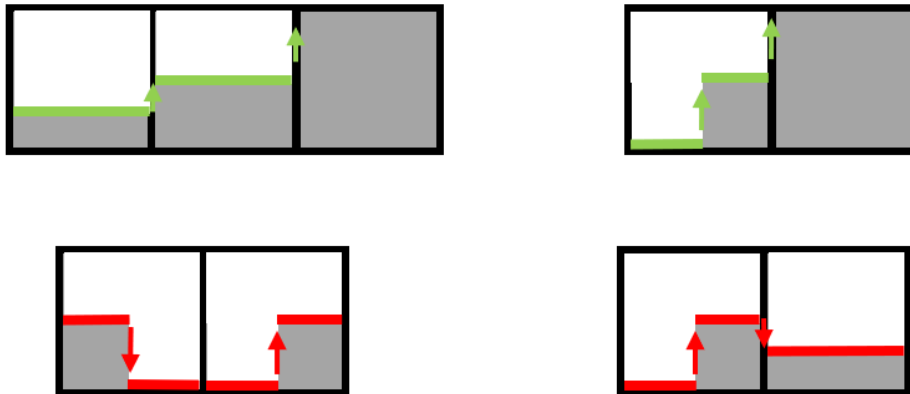


22. ábra. Iroda és átrium lehetséges felosztások az alapcsoporton belül

Lényeges szempont, hogy az egész épületen belül mindösszesen csak egy átrium és maximum két irodater lehet. Minden irodarésznek megközelíthetőnek kell lennie az átriumból; ha két irodablokk van, azok egymáshoz viszonyított aránya közelítsen az 50-50%-hoz, azaz ne legyen közöttük nagy eltérés. Az irodablokkok egymáshoz sarkukkal nem kapcsolódhatnak. Az irodatereknek kültéri csatlakozással kell rendelkezniük. Az épületen belül nem alakítható ki olyan folyosó, amely 1 alapegység széles és 4 vagy több alapegység hosszú – ugyanakkor ilyen

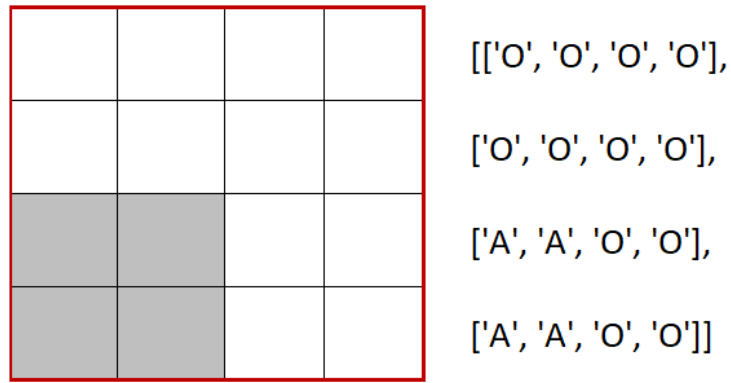
folyosó elképzelhető az épület külső fala mentén, külvilággal való érintkezést feltételezve, ahol megoldható a természetes szellőztetés és megvilágíthatóság.

Az épületben található egy-egy irodablokkon belül tiszta térképzés követelménye alapvető, ennek megfelelően az esetleges lépcsőzetes kialakítás csak egy irányban képzelhető el. Más megfogalmazásban ez azt jelenti, hogy az irodablokk általi tértörés csak egy irányban lehetséges, az irodablokk belső határoló falai 2 irányban már nem változhatnak, lásd 23. ábra.

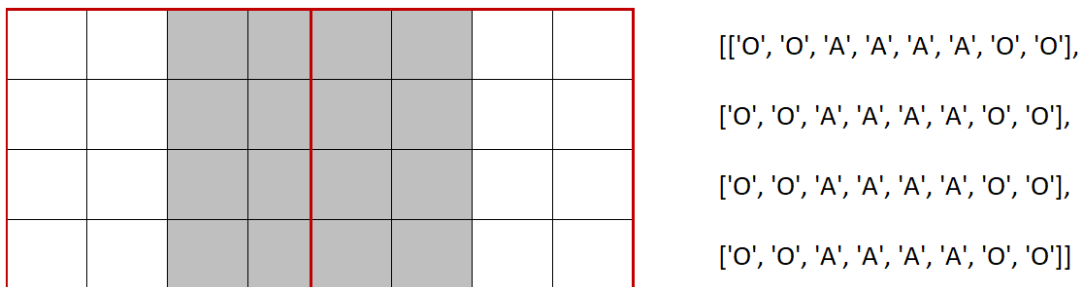


23. ábra. Irodablokk tiszta térképzési követelménye, belső térszervezése: elfogadható lásd felül, nem elfogadható lásd alul

Az épületformákhoz hasonlóan a BG-ok, mint alap építőelem egységek szintén kétdimenziós tömbben lettek tárolva. Mivel egy BG-ban lehet iroda és átrium, ezért ez a megkülönböztetés megjelenik a tömbön belül is, lásd 24. ábra. A jobb átláthatóság érdekében az egyes BG-kat vizuális megjelenítésükkor piros határvonallal jelöltem. A BG-ok reprezentációját követve, továbbá a fent megadott épületformákat tekintve azon épületek, amelyeket a vizsgálat során figyelembe kell venni szintén kétdimenziós tömbökként lettek megjelenítve. Ennek egy példája látható a 25. ábrán. Ezen az ábrán egy olyan épület található, amely 2 BG-ból áll, az épület formáját tekintve megtalálható a 20. ábrán megadott formák között. Az egyes BG-ok belső felosztásukat tekintve szerepelnek a 22. ábrán bemutatott esetek között, a teljes épületet tekintve 50%-a irodater 50%-a multifunkciós átrium, azaz maradéktalanul teljesíti a fenti kívánalmakat. Az ábrán látható épület BU-jai, mint a reprezentációhoz használt tömb elemei egyértelműen meghatározottak.



24. ábra. A BG adatszerkezete: egy 70%-ban iroda – 25%-ban átrium reprezentációja



25. ábra. Egy 2 BG-ból álló lehetséges épület reprezentációja

4.2. A lehetséges épület-konfigurációk generálása

Jelen építészeti feladat esetében a keresési teret a különböző formájú épület geometriák alkotják, amelyeken belül az alapszoportokban a térszervezésért felelős irodater és átrium felosztások állnak. Látható, hogy ilyen épületből igen nagy szám áll rendelkezésre, amelyek közül építészeti szempontból nincs mindegyikre szükség, azaz fontos annak a körnek a pontos behatárolása, amely az építészeti szempontból a későbbi vizsgálatok tárgyát képezi majd.

Azokat az épület verziókat, amelyek megfelelnek a fentiekben definiált kívánalmaknak épület-konfigurációknak neveztem. Ahhoz, hogy mely épületeket lehetséges épület-konfigurációnak tekinteni, egy generáló módszer mutatja be. A lehetséges épület-konfigurációk generálása történhetne más módszer segítségével, pl. gráfok segítségével, ugyanakkor az előző fejezetben bemutatott reprezentációból kézenfekvően adódik a jelen fejezetben bemutatott direkt úton történő generálás használata.

Első ránézésre kézenfekvő lenne az a lehetőség, hogy minden lehetséges BU minden lehetséges BU-tal legyen kombinálva a különböző lehetséges épület geometriákban, hogy kiválasztásra kerülhessenek az épületkonfigurációk. Ebben az esetben ugyanakkor a keresési tér igen nagyméretű lenne, azaz a generálás során nagyszámú olyan eset is előállna, amelyik nem épületkonfiguráció, és fölöslegesen lett generálva.

A felesleges esetek generálásának kiküszöbölése céljából célszerű olyan megoldási módszer használata, amely nem az összes BU-t kombinálja az összes BU-tal, hanem csak azok párosítására kerül sor, melyekkel biztosítható az 50%-50% arány az irodater és a multifunkciós átrium tekintetében. Ez például úgy lehetséges, hogy a generálás során már csak olyan BG-ok kerülnek párosításra és összeépítésre egy épületformán belül, amelyek ezen párosításban összekeverülhetnek egymással. Mivel minden egyes BG-hoz ismert a hozzá tartozó irodater – multifunkciós átrium arány, így pontosan definiálható melyik BG, mivel építhető össze. Például az 2. táblázatban. látható, hogy egy 3 BG-ból álló épület esetében mely BG felosztások voltak lehetségesek az irodater szervezése szempontjából: a megadott adatok a BG-on belüli irodater százalékos arányát jelentik. Látható, hogy csak olyan esetek kerültek felsorolásra, ahol az épületen belül kialakított térszervezés teljesíti az 50% irodater – 50% multifunkciós átrium kitélt; és ezen esetek közül minden lehetséges kombináció szerepelt.

100-50-0	75-75-0	50-100-0	25-100-25	0-100-50
100-25-25	75-50-25	50-75-25	25-75-50	0-50-100
100-0-50	75-25-50	50-50-50	25-50-75	
	75-0-75	50-25-75	25-25-100	
		50-0-100		

2. táblázat. 3 BG-ból álló lehetséges esetek, amelyek teljesítik az 50% irodater – 50% multifunkciós átrium kitélt a teljes épület vonatkozásában

A helyzetet tovább bonyolítja, hogy a jelenleg figyelembe vett 8 darab BG vizsgálata nem elegendő, mivel egy BG-nak, mint különálló objektumnak számos forgatott változata is lehetséges. Az BG-ok egymáshoz viszonyított elhelyezkedése mellett az egyes irodater és átrium 'irányok' is hatással lehetnek a térszervezésre. Maga a BG csupán egyszer szerepel, mint objektum, a különböző irányban történt elforgatás után pedig a verziók figyelembevételére van

szükség. A BG struktúrákat többféleképpen is lehet forgatni, a fenti reprezentáció esetében ez megfelel egy kétdimenziós tömb forgatásának. A lehetséges struktúrájú BG-okat egy erre létrehozott osztály reprezentálja, ami következőket tartalmazza:

- a) a lehetséges BG struktúra,
- b) az irodater százalékos arány (egész számként, például 50),
- c) az átrium rész százalékos arány (szintén egész számként, például 50).

Látható, hogy ez a reprezentáció az irodater és átrium százalékos aránya szempontjából redundáns, ugyanakkor nagymértékben megkönnyíti a későbbi számítások elvégzését. Az alcsoport 90°-os forgatása során úgy célszerű a példányosítást elvégezni, azaz a BG-hoz tartozóan az elforgatott alcsoport példányt létrehozni, hogy minden lehetséges forgatásnál csak abban az esetben hozunk létre új példányt, amennyiben az még nem szerepel az alcsoport példányok listájában. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogyha egy 100% irodaterből álló építőelem bármennyiszer is el van forgatva, mindig ugyanazt mutatja, ezért ilyen BG-ból csak egy példány szerepel majd a listában. Természetesen minél több BG-ból áll egy épület, annál nagyobb mértékű csökkenés érhető el ezzel az előfeldolgozásnak is tekinthető lépéssel. Tehát a 8 darab BG-ból csak 6 db, a 25%, 50% és 75%-os iroda-átrium részarányal rendelkező BG-ok (lásd 22. ábra.) forgatása lehetséges, összesen 24 BG példányt képezve. Ez például a 2 BG-ból álló épületnél azt eredményezné, hogy $24 \cdot 24$, azaz 576 darab épület generálást kellene elvégezni; míg 5 alcsoportból álló épület esetén már 24^5 , azaz 7.962.624 épület generálást kellene elvégezni. A korábban kifejtett generálási szabályok szerint ugyanakkor minden BG mellé csak azok az BG-ok lettek kiválasztva, melyekben az 50% irodater – 50% átrium arány teljesül, ezért a 2 alcsoportból álló épület esetében összesen csak 166 darab generálásra van szükség.

A szabályoknak megfelelő épület-konfigurációkat (egyedeket) egy listában tároltam. Egy újabb egyed generálásakor pedig ellenőriztem, hogy az adott egyed megtalálható-e már a listában akár önmagában, akár valamilyen transzformált módon. Az ellenőrzés során a forgatás és tükrözés transzformációkat vettem figyelembe. A forgatás korábban már pontosításra került. A tükrözés két tengelyen zajlott: mind az X, mind az Y tengelyeken elvégeztem. Ezáltal biztosítva lett, hogy az esetlegesen ismétlődő egyedek minden új generálás során kiszűrésre kerülhessenek. A forgatáshoz hasonlóan a tükrözés során a mátrix fordított sorrendben lett feltöltve, azaz az adott tengelyre kivetítve tükrözve adtam meg a mátrix elemeit.

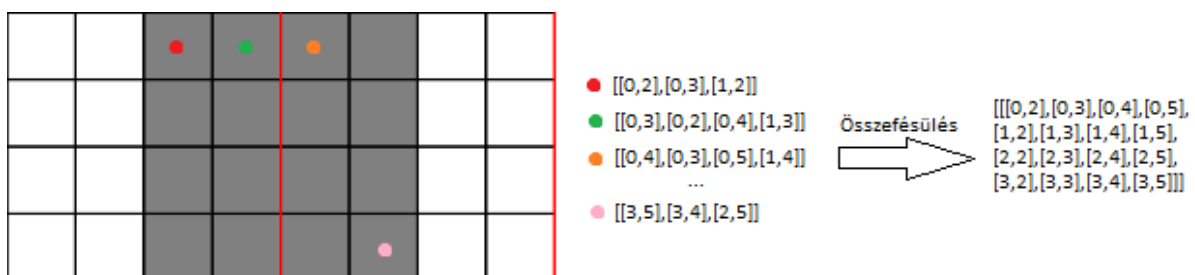
Abban az esetben, amikor az egyed a fenti szabályok valamelyikét sérti, azaz nem lehetséges épület-konfiguráció, akkor a számítások elvégzésére nem került sor. Miután egy lehetséges új épület-konfiguráció előállt, akkor a feladat további részeként komplex és időigényes épületfizikai számítások elvégzése szükséges, amelyek későbbiekben definiálva lesznek.

4.3. A főbb függvények

A megfogalmazott építészeti, épület-konfiguráció generálási szabályok ellenőrzését lépésenként végeztem az egyes épület példányok előállításánál és azt vizsgáltam, hogy az egyes generált geometria épület-konfiguráció-e vagy sem.

4.3.1. Összefüggő terek számának ellenőrzése

Első lépésben azt ellenőriztem, hogy az épületen belül 1 összefüggő átrium rész található-e. A 26. ábrán látható épület két BG-ból áll, az épület két oldalán egy-egy irodater és az épület közepén egy összefüggő átrium rész található. Ez az alaprajzról jól leolvasható, ugyanakkor ennek automatizált módon történő eldöntése érdekében listába vettem minden egyes átrium BU-ot, mely szomszédos BU-on keresztül elérhető. A listákat, amennyiben van közös pontjuk, összefésültem. Amennyiben az átrium funkcióhoz tartozó összefésült listából egy van, akkor ebből a szempontból a generált alaprajz épület-konfigurációnak lett elfogadva. A 26. ábra példájában a piros ponttal jelölt átrium BU-ja [0,2] koordinátával jelöltem; a vele szomszédos és ugyanazon funkciójú BU-ok koordinátái: [0,3] és [1,2]. A zöld ponttal jelölt átrium BU-ja [0,3] koordinátával rendelkezik, a szomszédos, ugyanazon funkciójú BU-ok koordinátái: [0,2], [0,4] és [1,3]. Mivel van közös pontja az ezen koordinátákból így módon előállított listáknak, ezért ezek összefésülhetnek, és a továbbiakban egy listaként kezelhetők.



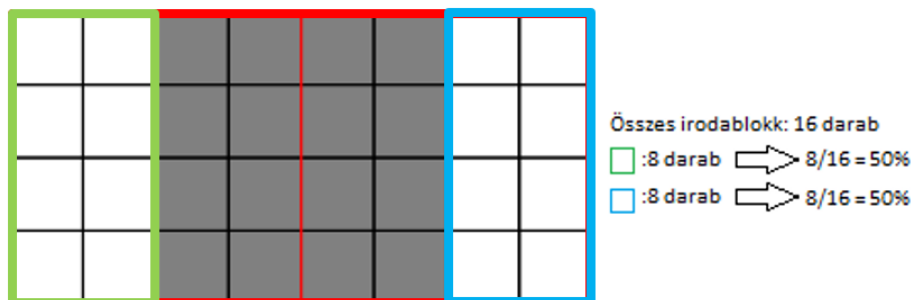
26. ábra. Az épületen belüli átriumösszefüggésének vizsgálata

A fentiekhez megegyező módon történt az irodaterек ellenőrzése is. Ebben az esetben a végső összefésülés után azt kellett vizsgálni, hogy 1 vagy maximum 2 összefésült lista (2 lista, ha 2 iroda szekció található az épületben) van-e az eljárás végén – ekkor ebből a szempontból a generált egyedet épület-konfigurációnak lehetett elfogadni.

4.3.2. Irodablokk-méreték meghatározása

Az BU-ból álló konfigurációkban az összefüggő irodaterек részeket irodablokknak neveztem. Az irodaterек megfelelő kihasználtsága, valamint a további épületfizikai számítások elvégzése miatt szükséges az önálló irodablokkok méretének meghatározása. Ezen méreetszámok összege az egész épület alapegységeinek számához, ill. alapterületéhez viszonyítva 50%, figyelembe véve a szabályokat. Amennyiben az összefüggő terек számának ellenőrzése végén az irodaterек funkcióhoz kapcsolódóan a fentiekben 1 összefésült lista keletkezett, akkor ez a szám az épület fele. Abban az esetben, ha 2 összefésült lista keletkezett, azaz 2 irodablokk van az épületen belül, akkor szükséges az önálló irodaterек méretének explicit meghatározása is, hiszen ebben az esetben ez már nem ismert. Ez az alkalmazott reprezentáció tekintetében azt jelenti, hogy irodablokkonként meg kellett számolni a kapcsolódó BU-ok számát. A számolás végén egy ellenőrzés lehetőséget biztosít irodaterек – átrium arányszám meghatározásra is. Ez egyéb vizsgálatok és további generálási feladatok szempontjából is célszerű volt. Például, ha 2 darab különálló irodablokk van, akkor ezen a ponton lehet ellenőrizni, hogy a teljes irodaterек és átrium egymáshoz viszonyított aránya nem nagyobb 70-30%-nál.

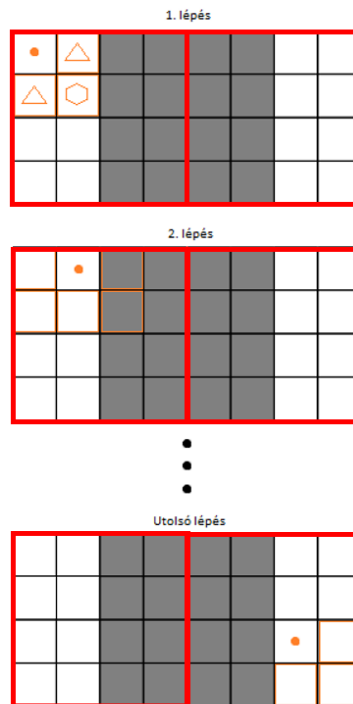
A 27. ábrán. a korábban tekintett épület (lásd: 4.3.1. Összefüggő terек számának ellenőrzése fejezet) önálló irodablokkok méretének kiszámítását végeztem. Először a bal oldali, zölddel jelölt irodablokk BU-ok számát, majd a jobboldal, kékkel jelölt irodablokk BU számát határoztam meg. A számítás végén az irodaterек – átrium arányszám meghatározását végeztem el.



27. ábra. Az önálló irodablokkok méreteinek meghatározása

4.3.3. Sarokcsatlakozások ellenőrzése

Következő lépésben az irodarészek sarok csatlakozását vizsgáltam. Ez azt jelenti, hogy amennyiben az épületen belül legalább két irodablokk található, azok egymáshoz való viszonyát ellenőrizni szükséges, azok egymáshoz nem kapcsolódhatnak semmilyen módon. Értelemszerűen az összefüggő terek számának ellenőrzéséből az következik, az ilyen irodablokkok csak a sarkukkal kapcsolódhatnak össze, amely esetén az adott épületet ki kell zárni a lehetséges épület-konfigurációk közül. Ezen ellenőrzés során az irodablokkokon belül iteratív módon kerestem sarokcsatlakozásokat minden lehetséges irányban. A 28. ábrán. ilyen sarokcsatlakozási pont keresése lett bemutatva lépésenként a korábban tekintett épület (lásd: 4.3.1. Összefüggő terek számának ellenőrzése fejezet) önálló irodablokkjai segítségével. Az épület első irodablokkjának első koordinátájából kiindulva vizsgáltam a szomszédos koordináták alapegységeit: a közvetlenül mellette, alatta és az átlósan alatta a kiindulási BU-t pöttyel, a szomszédos BU-t pedig háromszögekkel és hatszöggel jelöltem. Ha az adott pötty iroda, a háromszögek átrium funkciójúak és ha a hatszög is iroda, akkor sarokcsatlakozás van, azaz az épület nem tekinthető lehetséges épület-konfigurációnak. Ellenkező esetben az épület még elfogadható. Az ábra utolsó lépéséhez jelölt BU vizsgálatánál az ellenőrzés megállítható, hiszen ekkor lett elérve az épület külső határvonala, további ellenőrzésre nincs szükség.



28. ábra. Sarokcsatlakozás keresése

4.3.4. Átriumfolyosók vizsgálata

Ebben a lépésben az átriumok térszervezési vizsgálata található. Az építészeti szabályok szerint fontos kizárni azokat az eseteket, amelyeknél egy BU széles és legalább 4 BU hosszú átrium részt tartalmazó épület kerül generálásra. Ennek oka a hosszú gazdaságtalan, alacsony építészeti minőséggel és vizuális komfort szinttel rendelkező belső közlekedő terek kiküszöbölése. A vizsgálathoz először meg kellett keresni az összefüggő átriumon belüli 1 BU széles részeket, ezek folyosónak lettek nevezve és a reprezentációnak megfelelően egy listában tároltam. Értelemszerűen ezek a folyosók lehetnek az épületen belül és lehetnek az épület külső oldalfalánál is. Azokat a folyosókat, amelyek az épületen belül találhatóak további vizsgálatnak vettem alá; míg az épület külső oldalfalához illeszkedő folyosók elfogadhatóak, nem szükséges az épület-konfiguráció szempontjából további vizsgálat. Ennek oka, hogy a külső üveghomlokzatra csatolt 5 m széles közlekedő vizuális komfortja kiemelkedő, az építészeti términőség lényegesen javul, illetve a tér átmenetileg többletfunkcióval is bővíthető (pl. kisebb tárgyalások, online meeting). A folyosók tekintetében meghatároztam az összefüggőségüket (lásd korábbi fejezetek), majd az egyes összefüggő folyosórészekben egy számláló segítségével ellenőriztem, hogy az adott folyosó ne legyen hosszabb, mint 4 BU. Ezt a vizsgálatot minden egybefüggő folyosón meg kellett tenni. A 29. ábrán. egy épületrészben egy 1 BU széles, szürke színnel jelölt átrium folyosó látható. A kék pöttyel jelölt BU-ról egyértelműen meghatározható, hogy folyosónak kell tekinteni. A zöld pöttyel jelölt BU, sarok folyosóegység. A lila pöttyel jelölt BU szintén folyosóegységnek számít, mert a folyosó ebbe torkollik és külső homlokzati falon van. A barna pöttyel jelölt BU-k nem számítanak folyosóegységeknek, mert nem torkollik beléjük folyosó, valamint az épület külső fala határolja őket. További szabály: annak ellenére, hogy a kék pöttyel jelölt [0,1 koordináta] BU blokknak van olyan oldala, amely külső falfelülettel érintkezik, ez az alapegység egyértelműen folyosó, mivel csak 1 egység széles, ellentétben a barna pöttyel jelölt BU-tal.

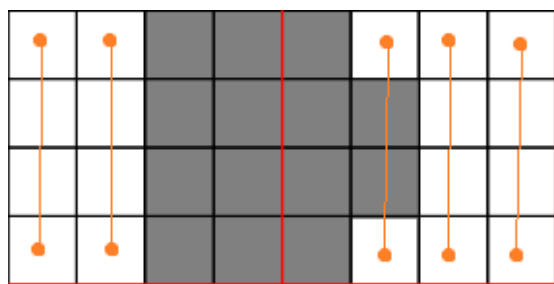


29. ábra. Átriumfolyosó vizsgálata

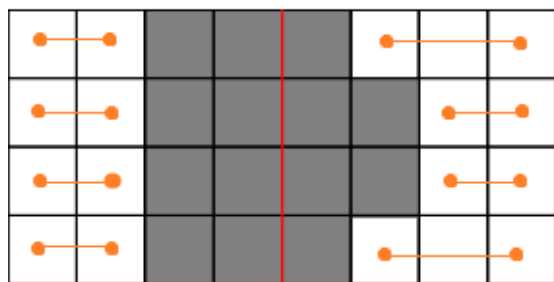
4.3.5. Irodablokkok térszervezésének vizsgálata: lépcsőzetesség szabály

Ebben a lépésben az irodablokkok térszervezésének vizsgálata történt. Ez a vizsgálat két részből áll: első lépésben a belső kiugrások keresése és detektálása történt, míg azt követően a külső kiugrások kimutatására került sor. Az ellenőrzés során tehát azon épületek kerültek kizárásra, amelyek az ún. lépcsőzetesség szabályt megsértik. Ez a szabály szükségtelenül komplikált és költségigényes 'amorf' belső térszervezés esetét hivatott kiküszöbölni.

A belső kiugrások keresése során az irodablokkon belül meg kellett keresni a reprezentációhoz tartozó legkisebb és legnagyobb sor indexet minden oszlopban; majd az őket összekötő képzeletbeli vonal mentén vizsgáltam ezen BU-k közötti összes BU-t. Amennyiben ezen képzeletbeli vonal mentén nem csak iroda funkciójú BU található, akkor a tekintett esetet ki kellett zárni a lehetséges épület-konfigurációk közül. Mivel a fenti feltételt minden irányba vizsgálni kellett, ezért a legkisebb és legnagyobb oszlopindexet is meg kellett keresni minden sorban és az így kapott képzeletbeli vonalak mentén található BU-kat is vizsgáltam. Ennek a példája látható a 30. ábrán., ahol az irodablokkon belül jelölt pöttyök jelölik a reprezentáció szerinti szélső helyzetben levő BU-kat az oszlopok vonatkozásában (felső kép) és az őket összekötő vonal mentén található BU-k néztem. Az ábrán látható alsó kép a sorok vonatkozásában mutatja be ugyanezt a vizsgálatot. Látható, hogy a bal oldalon található irodablokk esetében minden vizsgált BU iroda funkciójú, akár az oszlopok, akár a sorok tekintetében. Ugyanakkor a jobb oldalon található irodablokk esetében a vizsgált BU-k már váltakozó funkciójúak a felső ábrán, azaz a térszervezési kívánalmaknak nem felelnek meg és kizárandók a konfigurációkból.



A pöttyök a legkisebb és legnagyobb indexek a sorok/oszlopok tekintetében.



Ha akár egyetlen átrium is van közöttük, akkor az épület hibás, mert sérti a lépcsőzetesség szabályát. Természetesen csak azonos oszlopban/sorban vizsgáljuk ezt.

30. ábra. Irodablokk térszervezés vizsgálata: belső kiugrások keresése (lépcsőzetességi szabály)

Ezután a külső kiugrások keresése következett. Ehhez szükségem volt bizonyos BU koordinátákra minden egyes irodablokkon belül. A reprezentációnak megfelelő BU koordináták, amelyek a jelen vizsgálathoz szükségesek a következők:

- legfelső sor bal- és jobbszélső koordinátái,
- legalsó sor bal- és jobbszélső koordinátái,
- legbaloldalibb oszlop legfelső és legalsó koordinátái,
- legjobboldalibb oszlop legfelső és legalsó koordinátái.

A vizsgálat pseudo kódját a 31. ábra. mutatja be. A vizsgálat során a következőket néztem. Legyen 0: sor koordináta és 1: oszlop koordináta. Először azt az esetet nézve, amikor balra beugrás látható, ha a legfelső sor balszélső oszlopkoordinátája nem egyezik meg a balszélső koordináták oszlop koordinátáival és ugyanekkor a balszélső oszlopkoordináták nem egyeznek meg a legalsó sor balszélső oszlopkoordinátájával, akkor biztosan van beugrás. Hasonló módon szükséges volt vizsgálni a jobb, alsó és felső beugrásokat is.

```
//Balra van beugrás
if(mostTopMostLeftCoordinate[1] != mostLeftMostBotCoordinate[1] && mostLeftMostBotCoordinate[1] != mostBotMostLeftCoordinate[1]){
    return false;
}

//Jobbra van beugrás
if(mostTopMostRightCoordinate[1] != mostRightMostBotCoordinate[1] && mostRightMostBotCoordinate[1] != mostBotMostRightCoordinate[1]){
    return false;
}

//Felül van beugrás
if(mostLeftMostTopCoordinate[0] != mostTopMostRightCoordinate[0] && mostTopMostRightCoordinate[0] != mostRightMostTopCoordinate[0]){
    return false;
}

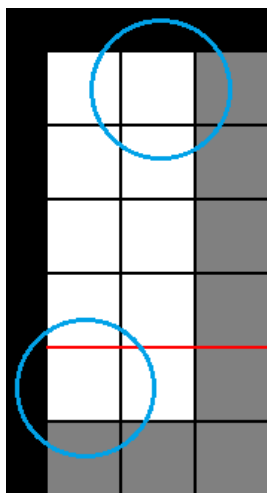
//Alul van beugrás
if(mostLeftMostBotCoordinate[0] != mostBotMostRightCoordinate[0] && mostBotMostRightCoordinate[0] != mostRightMostBotCoordinate[0]){
    return false;
}
```

31. ábra. A külső kiugrások vizsgálatának pseudo kódja

4.3.6. Irodablokkok térszervezésének vizsgálata: buborék szabály

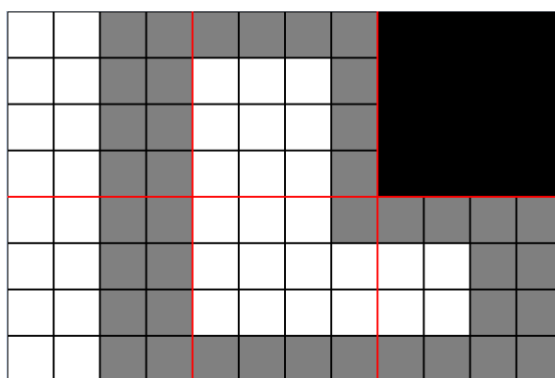
Ebben a lépésben az irodablokkok térszervezésének egy újabb fajta vizsgálata történt. Építészeti szempontból a lépcsőzetesség szabály megfogalmazásához hasonlóan a jelen szabály felállítása során is olyan egységes irodablokk kialakítása volt cél, amely egyrészt kültéri kapcsolattal rendelkezik, másrészt nem eredményez az épületen belül „amorf” térszervezést. Ezért az ellenőrzés során kizártam azon eseteket, amelyek a jelen, ún. buborék szabályt megsértik.

Tekintettel arra, hogy az irodablokkok és az átrium minden lehetséges esetben kapcsolódnak egymáshoz, a vizsgálat során minden irodablokkot ellenőrizni kellett. Ehhez elengedhetetlen olyan iroda BU-k megkeresése, amelyek átrium BU-tal szomszédosak; majd az így kialakult listák elemei között a lehetséges utak (egybekapcsolt BU-k, vagy összefüggő részek) részletes elemzése szükséges. Az ellenőrzés során a vizsgált irodablokk tekintetében pontosan 2 darab BU lehet, amiből csak egy irányban lehet elindulni; ezek azok a végpontoknak tekinthető BU-k, ahol az irodatér, az átrium és az épület külső fala is találkozik, lásd 32. ábra.



32. ábra. Buborék szabálynak megfelelő irodablokk kültéri csatlakozással

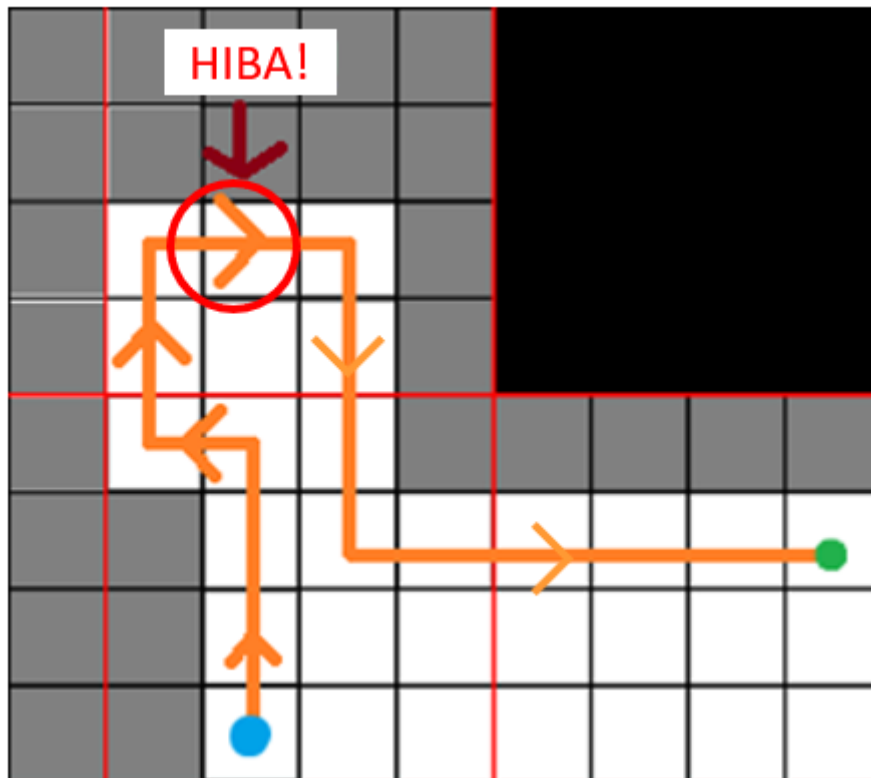
Amennyiben ilyen BU-ból 0 darab volt található az adott irodablokkban, akkor egy úgynevezett iroda-buborékot hoztunk létre a generálás során, azaz az irodater nem kapcsolódik külső homlokzathoz és az épületet ki kellett zárni a további vizsgálatokból, lásd 33. ábra. Olyan valós eset pedig nem lehetséges, ahol a fentiekől eltérő számú BU lenne található az irodablokkon belül.



33. ábra. Irodablokk kültéri csatlakozás nélkül – az épületet ki kell zárni a további vizsgálatokból

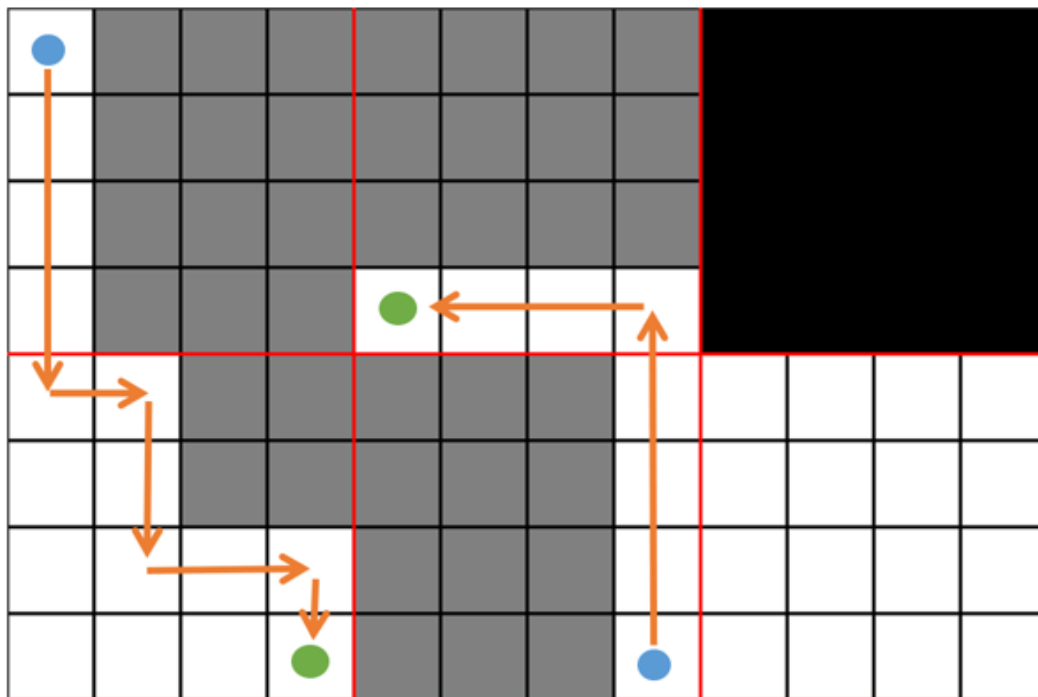
A vizsgálat további részében az egyik végpontnak tekinthető BU-ból kiindulva, az út mentén haladva a haladási irányt figyelembe véve kellett végig menni. Ez a korábban már említett sor és oszlop indexnek vizsgálatával ellenőrizhető: csak növekvő (vagy csak csökkenő) értékek fogadhatóak el, illetve amennyiben ebből a szempontból közöttük anomália volt tapasztalható,

akkor az esetet ki kellett zárni a további vizsgálatokból, ez látható a 34. ábrán. Jól látható, hogy a haladási irány megváltozik az eredetileg beállított irányhoz képest, ezért ez az irodablokk nem elfogadható és az esetet ki kell zárni. Megfigyelhető, hogy az Y tengely haladási iránya +1, míg az X tengely haladási iránya -1. Ha az algoritmus nem tud ezekkel az irányokkal az összefüggő részekben végig menni, akkor biztosan hibás a modell, mert van benne irányváltás. A 34. ábrán kék ponttal lett jelölve a kezdő blokk és zöld ponttal a cél blokk.



34. ábra. Haladási irány lekövetése (buborék szabály)

Megjegyzésként, a fent leírt generáláskor képződnek olyan esetek is, amelyekben csupán egy BU széles irodablokkok találhatóak, és mivel nem történik „visszafordulás,” azaz irányváltás az ilyen módon generált épület nem kerül kizárásra; lásd a 35. ábrán. bemutatott példa.



35. ábra. A jelenlegi szabályoknak (buborék szabály) megfelelő épület-konfiguráció

4.4. Triviális vizsgálatok és számítások

Ebben a fejezetben olyan vizsgálatokról van szó, amelyek a fenti ismertetés után már nem szorulnak további magyarázatra, egyértelműek. Ide soroltam azokat a számításokat is, amelyek további építészeti szempontok kialakításához játszanak fontos szerepet. Minden esetben meg kell keresni a vizsgált irodablokkon belül (vagy épületen belül) azokat a BU-kat, amelyek egy adott feltételt teljesítenek. Ezen BU-kat célszerű volt listába rendezni, amely tetszőleges módon rendezhető, továbbá mérete is egyszerűen lekérdezhető. A következő vizsgálatok és számítások lettek elvégezve.

4.4.1. Irodablokkonként beltéri csatlakozással rendelkező BU-k száma

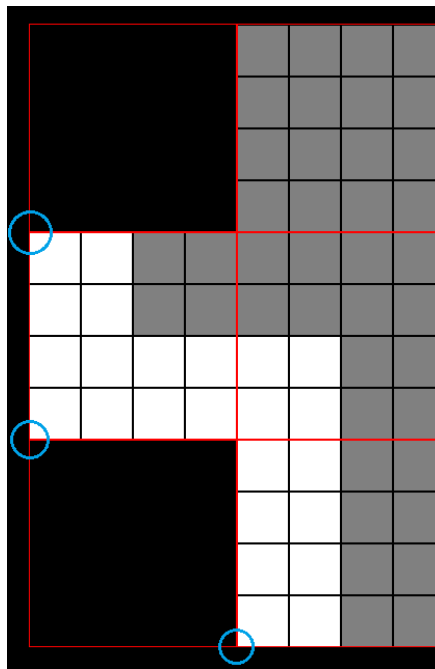
Vizsgálni kellett (számolni) az egyes irodablokkhoz tartozóan a belső falakon lévő iroda funkciójú BU-kat. Ezeket célszerű tömbbel reprezentálni: első irodablokk belső falai, második irodablokk belső falai.

4.4.2. Irodablokkonként kültéri csatlakozással rendelkező BU-k száma

Vizsgálni kellett (számolni) az egyes irodablokkhoz tartozóan az épület külső falain lévő iroda funkciójú BU-kat, azaz azokat az BU-kat, amelyek kültéri kapcsolattal rendelkeznek. Ezeket célszerű tömbbel reprezentálni: első irodablokk külső falai, második irodablokk külső falai.

4.4.3. Irodablokkonként tényleges külső sarokpontok száma

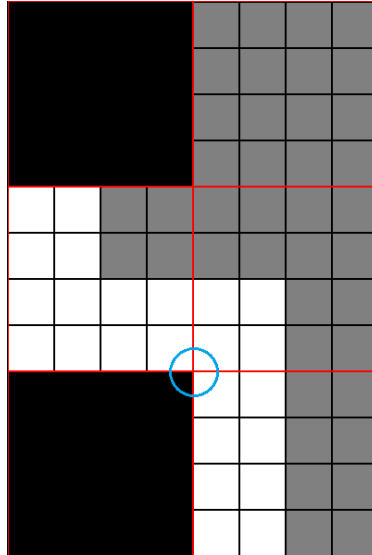
Vizsgálni kellett (számolni) az egyes irodablokkhoz tartozóan a tényleges külső sarokpontokat, lásd 36. ábra. Ezeket célszerű tömbbel reprezentálni: első irodablokk tényleges külső sarkai, második irodablokk tényleges külső sarkai.



36. ábra. Tényleges külső sarokpont

4.4.4. Irodablokkonként tényleges negatív külső sarokpontok száma

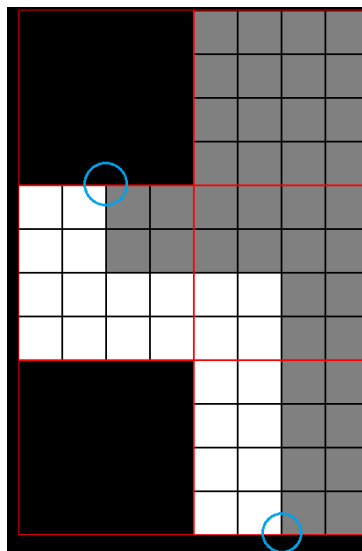
Vizsgálni kellett (számolni) az egyes irodablokkhoz tartozóan a tényleges negatív külső sarokpontokat, lásd 37. ábra. Ezeket célszerű tömbbel reprezentálni: első irodablokk tényleges negatív külső sarkai, második irodablokk tényleges negatív külső sarkai.



37. ábra. Tényleges negatív külső sarokpont

4.4.5. Irodablokkonként épületfalon lévő sarokpontok száma

Vizsgálni kellett (számolni) az egyes irodablokkhoz tartozóan az épület oldalán található sarokpontokat, lásd 38. ábra. Ezeket célszerű tömbbel reprezentálni: első irodablokk épületfalon levő sarkai, második irodablokk épületfalon levő sarkai.



38. ábra. Irodablokk épületfalon lévő sarokpontja

4.4.6. Irodablokkonként belső sarokpontok száma

Vizsgálni kellett (számolni) az egyes irodablokkhoz tartozóan az épületen belül található sarokpontokat. Ezeket célszerű tömbbel reprezentálni: első irodablokk belső sarkai, második irodablokk belső sarkai.

4.4.7. Épületfalon levő BU-k

Vizsgálni kellett (számolni) az épületfalához kapcsolódó irodatér, illetve átrium funkciójú BU-kat. Ezeket célszerű tömbbel reprezentálni: irodatér BU-k száma, átrium BU-k száma.

4.4.8. Galériák kialakítása átrium térben minden emeleti szinten

Egy további új építészeti szabály megalkotása vált szükségessé, ahol az egybefüggő átrium térben minden emeleti szinten galéria kialakítása szükséges, az alapterület 60%-ban. Mivel az átrium alaprajzi területe 1000 m^2 , így 600 m^2 -es galériák létesítése vált szükségessé, hogy gazdaságilag és funkcionálisan jól működhessen az épület. A galériák az átriumtérrel egy légteret alkotnak.

4.4.9. $A_{\text{tot}}/S_{\text{tot}}$ -hányados alapú modell rendezés

Szükséges volt kimutatni az átviteli hőveszteség felület és padlóterület hányados ($A_{\text{tot}}/S_{\text{tot}}$) számításával a hőveszteséget okozó, illetve a hőterhelésnek kitett burokkfelületek következtében kialakuló épületenergetikai mérőszámot az (1), (2) és (3) képletek szerint. Ez az $A_{\text{tot}}/S_{\text{tot}}$ -hányados az épület-konfiguráció geometriájából adódó egyik legjelentősebb épületfizikai mutatószám. Minél kisebb az A/S arányszám, annál nagyobb az épület energiahatékonysága. A_{tot} az összes számításba vett burokkfelület: Az $A_{\text{off wall}}$ az irodaszekció külső falfelülete, az $A_{\text{off roof}}$ az irodaszekció lapostető felülete, az $A_{\text{off gr floor}}$ az irodaszekció talajjal határos szerkezete. Ezek a paraméterek az „atr” indexel ellátva az átriumtér határoló felületeit képviselik, az irodaszekcióhoz hasonlóan. A felületszámításba minden olyan szerkezet felülete bele lett számolva, amelyek két oldalán eltérő hőmérséklet alakulhat ki. Ide lett véve az irodatermek és az átrium külső homlokzati falai, a tetőfelületek, a talajjal érintkező felületek és az átrium-iroda közti falazat felülete. Az S_{tot} az összes számításba vett hasznos alapterület: az S_{off} az irodaszekciók alapterületei, az S_{atr} , pedig az átrium alapterülete illetve a galériák alapterületei.

A számítások elvégzése után az egyes épület-konfigurációkat az értékeknek megfelelően csoportosítottam 3 kategóriába: Min. érték – Max. érték – és egy közbenső (Ave.) érték. A felület - terület hányados egy gyors energetikai értéket adott, ahol megnéztem az egyes csoportokon belül, hány darab épületmodell és mennyi eltérő épületgeometria tartozik.

$$A_{tot} = A_{off\ wall} + A_{off\ roof} + A_{off\ gr\ floor} + A_{off-atr\ wall} + A_{atr\ gr\ floor} + A_{atr\ wall} + A_{atr\ roof} \quad (1)$$

$$S_{tot} = S_{off} + S_{gallery} \quad (2)$$

$$A_{tot} / S_{tot} \quad (3)$$

4.5. Modellgenerálás eredménye

A teljes keresési tér a vizsgálat tárgyát képező 10 épületforma (20. ábra.) tekintetében 10×24^5 azaz 79.626.240 épület generálását és további vizsgálatát jelentené abban az esetben, amennyiben a jelen építészeti szempontok nem lettek volna figyelembe véve. A megfogalmazott egyszerű szabályok használatával ugyanakkor ezen keresési tér mérete lényegesen lecsökkent. A végső generálásnál figyelembe vett irodatömeg arányok (azaz a kialakult irodablokkok között megengedett arányszámok) a következők:

- 100-0%
- 60-40%
- 50-50%.

Az eredmények a 4 szintes, alaprajzonként 5 db BG-ból álló épületmodellek esetében kerülnek részletesebb bemutatásra, mivel itt alakult ki a legnagyobb esetszám, így szélesebb körben lehetett tapasztalatokat nyerni. Későbbi vizsgálatok szempontjából fontos lehet majd további alapszintű vizsgálatok és figyelembevétele is.

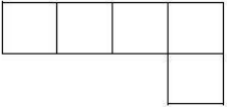
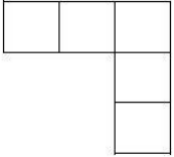


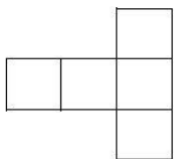
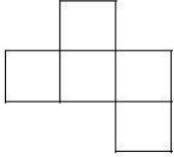
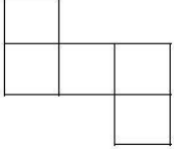
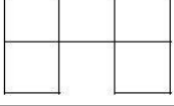
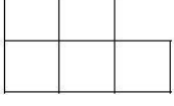
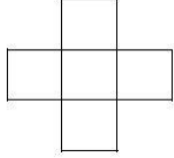
A szabályok alapján elfogadott épület-konfigurációk száma **2408** darab lett. A generált épületek további komfort és energetikai vizsgálatok elvégzésére készültek, az optimális épület kiválasztása céljából. Fontos kiemelni azt, hogy az építészeti szempontból megfogalmazott és részletezett szabályok megalkotására azért volt szükség, hogy a keresési tér megfelelően szűk legyen és ezáltal a kapcsolódó további vizsgálatokat és szimulációkat belátható időn belül el lehessen végezni minden egyes épület-konfigurációval. További építészeti szempontból is elfogadható szabályok megalkotásával ezen esetszám tovább korlátozható.

A kapott épület-konfigurációk az alábbiak szerint lettek csoportosítva:

- Az épület-konfigurációhoz tartozó A_{tot}/S_{tot} érték alapján;
- Belső irodatömeg arányok alapján.

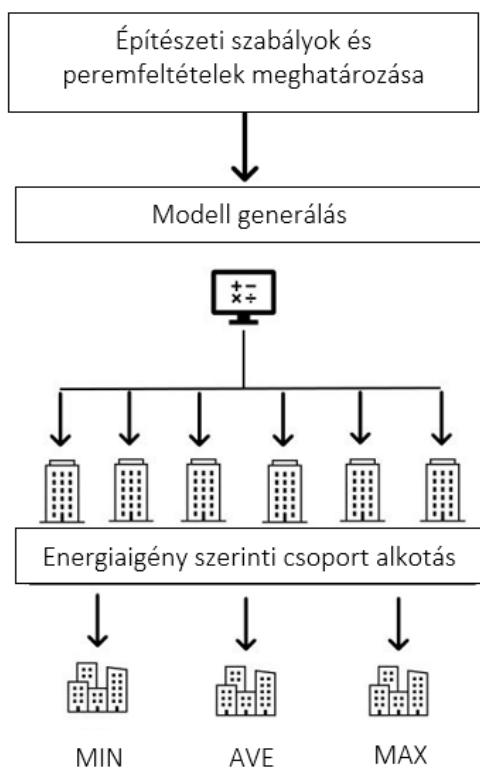
Az első vizsgálati szempont, azaz az épület-konfigurációhoz tartozó A_{tot}/S_{tot} -hányados számítása során az eredmények 1.01-1.28. értéket adták, így 28 darab különböző energetikai csoport jött létre.

Az épületformák és az elfogadott épület-konfigurációk eloszlását a 3. táblázat tartalmazza. Jól látható, hogy a 9. sorszámmal jelölt épületforma a legkompaktabb, és így a várakozásoknak megfelelően a legtöbb elfogadott épület-konfiguráció (740 darab) ebben az esetben keletkezett. Érdekes megfigyelni azt, hogy 10. épületforma szimmetria-viszonyaiból következően nagyságrendileg kevesebb elfogadott épület-konfiguráció lett, mint egyéb esetekben.

Sorszám	Forma	Épületkonfiguráció száma
1.		103 darab
2.		316 darab
3.		347 darab
4.		191 darab
5.		208 darab
6.		159 darab
7.		162 darab
8.		175 darab
9.		740 darab
10.		7 darab

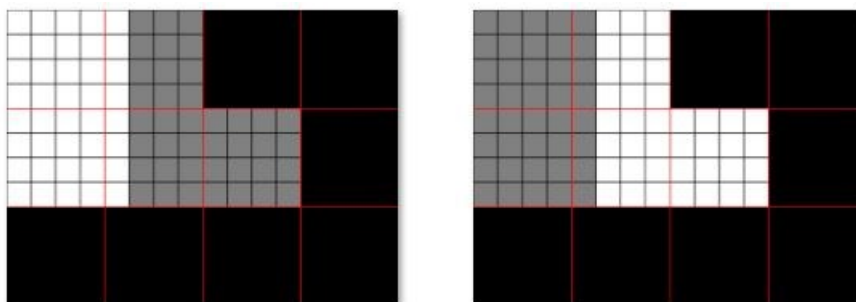
3. táblázat. Épületformák és az elfogadott épület-konfigurációk darabszáma

A modellgenerálás után, az eredményül kapott modelleket A/S szerint csoportosítottam. Ezt követően három energiaigényű csoport modelljeivel folytattam a vizsgálatot. Kiválasztottam a minimum (MIN), a maximum (MAX) és a közepső (AVE) csoportot, ahogyan azt a 39. ábra szemlélteti, a minél szélsőségesebb eredmények reményében. Ezzel a lépéssel, a 2408 db esetszám, mindössze **135** modellre csökkent, ami 94%-os redukciót jelentett.



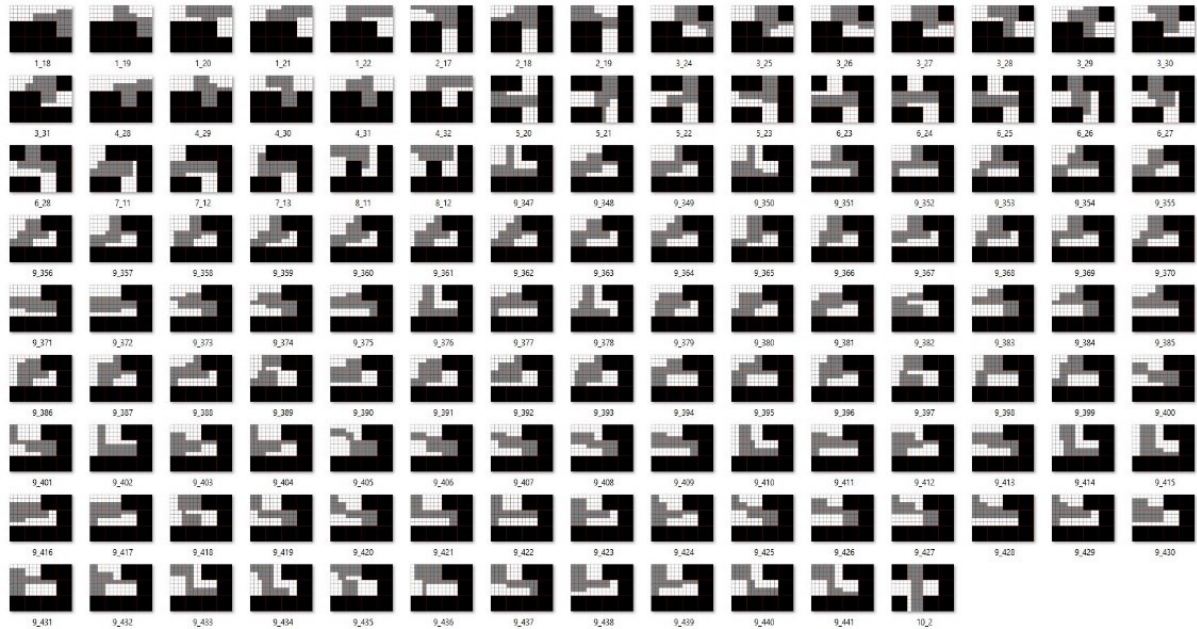
39. ábra. Modell generálás módszere

A csoportokat tartalmazó alaprajzi modellek a 40., 41. és 42. ábrán láthatóak. Az $A/S=1,01$ a MIN csoport 2 modellt tartalmazott, melyek azonos 9. számú geometriával rendelkeztek, azonban eltérő iroda-átrium feloszlással.



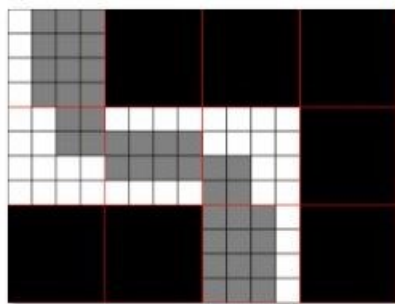
40. ábra. $A/S=1,01$. MIN csoportba tartozó modellek

Az $A/S=1.13$ -as AVE csoport már jóval több, 132 modellt tartalmazott és mind a 10 féle alaprajzi geometria megtalálható volt, de a legtöbb esetszámban a 9. számú geometria fordult elő (95 db).



41. ábra. $A/S=1.13$. AVE csoportba tartozó modellek

Míg az $A/S= 1.28$. értékű MAX csoport egyetlen egy modellt tartalmazott, 7. Számú geometriával.



42. ábra. $A/S=1.28$. MAX csoportba tartozó modell

4.6. További építészeti szabályok szükségessége

Mivel jelen feladat keretein belül egy olyan irodaépület koncepciójának tervezési módszertanán dolgoztam, mely multifunkciós átrium térrel rendelkezik, úgy gondoltam, hogy az alapterület hatékonyabb kihasználtságát érintő további építészeti szabályok meghozatala szükséges.

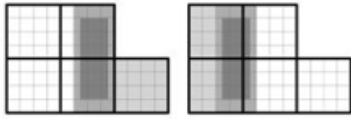
Korábbi vizsgálatok során minden emeleti szinten 600 m²-es galériákat hoztam létre az átrium térben. Ahhoz, hogy a galériák megfelelően kihasználhatóvá váljanak, úgynevezett semi-office kialakítása lehetséges ezen terekben. A semi-office-ok olyan rugalmasan variálható terek, melyek könnyűszerkezetesek és alkalmasak időszakos projekt munkák, rendezvények, meetingek, kávézó, büfé vagy egyéb funkciók ellátására, tehát egyfajta „tér a térben” elv szerint képzeltem el. Ezek a terek állhatnak több kisebb helyiségből is, de akár egy összefüggő térből is, ha éppen az az igény. Ezért meghatároztam az egybefüggő tér méretét, mely 300 m²-es területnek kell maximum lennie, tehát a galériák szintjének 50%-a kihasznált legyen. A semi-office elhelyezésére is hoztam szabályokat, miszerint egyik oldala sem érhet iroda funkciót határoló falhoz, sem külső homlokzathoz, sem pedig átriummal kapcsolatos határhoz, tehát nem lehet a galéria szélén. Abban az esetben, ahol nem lehet egybefüggő 300 m²-es Semi-office-t létrehozni a fenti peremfeltételeknek megfelelően, kiestek a vizsgálandó módszerből. Ez a peremfeltétel jelentős mértékben csökkentette a szabálynak megfelelő eredményeket, melyek a következők lettek.

4.7. Végső eredmények

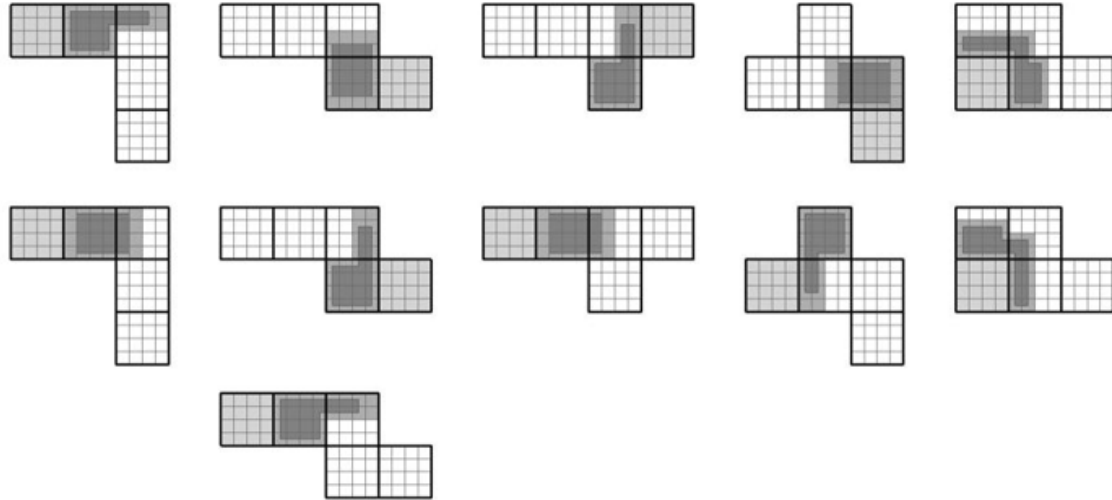
Az eddigi 135 eset **17 db** modellre csökkent, ezáltal egy további 87%-os esetszám csökkentés volt elérhető. Az eredmények azt mutatták, hogy azokban a modellekben, ahol 2 db irodater volt található, nem lehetett létrehozni 300 m²-es, egybefüggő semi-office teret. A kieső modellek miatt, változtak a kívánalmakat teljesítő A/S csoportok is. A MIN csoport nem változott, az továbbra is ugyanaz maradt. Az új MAX csoport a korábbi AVE csoport lett, az A/S=1.13-as, ahol mindössze 4 db eset 4 db különböző geometriával felelt meg. Az új AVE pedig az A/S=1.06 értékű csoport lett, ahol 11 modell, 7 különböző geometriával tudta teljesíteni a szabályokat. A 43. ábrán. láthatóak az eredményül kapott alaprajzok, ahol fehérrel az iroda tér, világos szürkével az átrium, középszürkével a galéria és sötétszürkével a semi-office tér van jelölve.

A Semi-office kialakításának szabályára azért volt szükség, hogy a vizsgálat tárgyát képező modellek száma megfelelő legyen, a további elemzések számára, ahol ismét esetszám növekedés várható, valamint több komfort térrel rendelkezzenek a modellek, a pontosabb eredmények érdekében. A további fejezetekben ezen koncepció alaprajzokkal foglalkoztam tovább és vettem alá termikus-dinamikus épületszimulációs vizsgálatoknak.

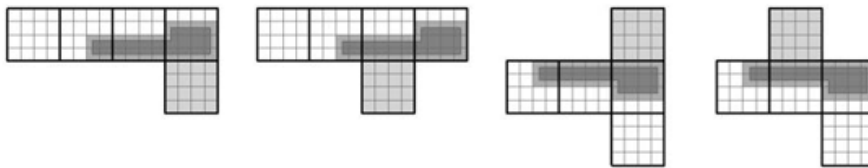
MIN:



AVE:



MAX:



43. ábra. Semi-office kialakíthatóságának megfelelő modellek alaprajzai

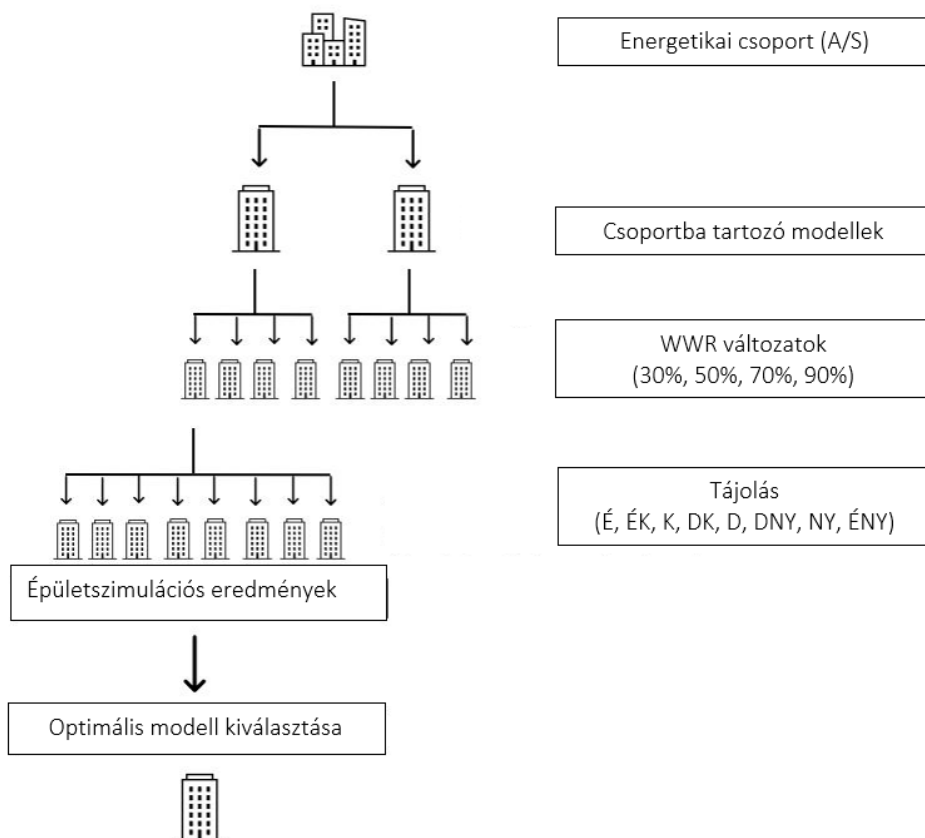
4.8. Fejezethez tartozó tézisek

T.2. Az EDOPT módszer alkalmazása során, irodaépületekre fogalmazott peremfeltételeknek megfelelő építészeti szabályrendszer meghatározásával, modellgeneráló algoritmus alkalmazásával garantáltan létrehozható az összes potenciálisan optimális épületeset.

- Megállapítottam, mint minden épülettervezés kezdetén bizonyos peremfeltételeknek meg kell felelni. Mivel jelen tervezési feladatban ilyen peremfeltételek nem álltak rendelkezésre, így szükséges volt meghozni jól megfogalmazott építészeti szabályokat. Ezen szabályok meghozatalával jelentősen tudtam csökkenteni a keresési teret. A szabályokat úgy határoztam meg, hogy alkalmazhatóságuk reális legyen és a modellgeneráló algoritmus a figyelembe vehető keresési teret garantáltan bejárja.
- Bizonyítottam, hogy az általam megfogalmazott építészeti szabályokat le lehet fordítani modell generáló algoritmus számára, miáltal garantáltan az összes lehetséges eset megkapható.
- Az így létrejött modellek száma 17 db esetet és 7 féle alaprajzi geometriát eredményezett a további épületszimulációs vizsgálatok számára.

5. EDOPT KUTATÁSI PROJEKT – DINAMIKUS-TERMIKUS ÉPÜLETSZIMULÁCIÓS VIZSGÁLAT

Az EDOPT módszer további vizsgálatának menete a 44. ábrán látható, ahol az egyes energiacsoportba tartozó esetek termikus-dinamikus épületszimulációs vizsgálatait végeztem el. A modellek azonos épületszerkezet, gépészeti és üzemeltetési beállításokat kaptak, majd növeltem az esetszámot, 4 féle fal-ablak aránnyal (WWR: 30%, 50%, 70% és 90%) és 8 különböző tájolással (É, ÉK, K, DK, D, DNY, NY, ÉNY). A modellek termikus, dinamikus szimulációit az IDA ICE szoftverrel végeztem, ahol éves szinten kiértékeltem a hűtési-, fűtési és világítási energia fogyasztást, valamint a termikus komfort és vizuális komfort értékeket. Ezt követően az eredményeket sorrendbe állítottam, majd egy súlyozási rendszer segítségével a legoptimálisabb modellt kiválasztottam. Ezzel a módszerrel megnövekedtek az esetszámok, azaz $17 \times 4 \times 8 = 544$ db szimulációt futtattam le.



5.1. Dinamikus-termikus épületszimulációk (IDA ICE)

Az épületszimulációk során négy szintes, szintenként egyforma alaprajzú koncepció épületek modellezése történt. A szimulációs vizsgálat során a modellezés klímazóna alapon, egybefüggő belső terekkel zajlott a kutatás jelen fázisában. Részletesebb modellezés, a bonyolult optimalizálási folyamatok időigényes szimulációk lefuttatásához vezet, melyeket további kutatások során kell majd figyelembe venni. A kutatás első fázisában már az egyszerűsített modellek eredményeiből is lehet következtetéseket levonni, és a már kiválasztott modelle(ke)n javasolt csak a részletesebb kidolgozás. A cél egy alapkoncepció kifejlesztése volt, ahol elfogadható energetikai és komfort eredmények születtek órás bontásban egy évre nézve, figyelembe véve a helyi (Magyarország, Pécs) éghajlati és időjárás viszonyokat. Mindegyik épület ugyanazon szerkezeteket, üvegezést, gépészeti beállításokat és üzemeltetést kapták, az eredmények összehasonlíthatósága miatt.

5.2. Épületszerkezetek meghatározása

A koncepció szerint az épület lapostetős, az iroda funkció vasbeton falazatú, szalag szerűen rendezett nyílászárókkal, az átrium rész pedig függönyfalas pillérvázás szerkezetű. Az alábbi felsorolásban láthatóak az általam alkalmazott épületszerkezetek rétegrendjei, melyekből felépítettem a szimulációs modellt, a Magyarországon jelenleg érvényben lévő energetikai szabványoknak megfelelően (7/2006 V.24. TNM).

Külső falazat: fémburkolatos hőszigetelt vasbeton falazat $U= 0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$

- 3 mm korcolt fémburkolat
- 3 cm légrés
- 16 cm kőzetgyapot hőszigetelés
- 20 cm vasbeton falazat
- 1 cm vakolat

Beltéri falazat: szerelt gipszkarton falazat $U= 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$

- 2 x 1,25 cm gipszkarton burkolat
- 15 cm vázszerkezet, közte kőzetgyapot hőszigetelés
- 2 x 1,25 cm gipszkarton burkolat

Talajon fekvő padló $U= 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$

- 2 cm kerámia lapburkolat + ragasztás
- 6 cm aljzatbeton
- 1 rtg. párazáró fólia
- 15 cm lépésálló hőszigetelés
- 15 cm vasalt aljzatbeton
- 25 cm tömörített kavicsfeltöltés
- termett talaj

Közbenső födém $U= 0,64 \text{ W/m}^2\text{K}$

- 2 cm kerámia lapburkolat + ragasztás
- 6 cm aljzatbeton
- 1 rtg. párazáró fólia
- 4 cm lépésálló hő- és hangszigetelés
- 20 cm vasbeton födém
- 1 cm mennyezet vakolat

Lapostető $U= 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$

- 5 cm kavics terítés
- 1 cm csapadékvíz elleni szigetelés
- 22 cm hőszigetelés
- 20 cm vasbeton födém
- 1 cm mennyezeti vakolat

Üvegezés $U= 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$

- 3 rétegű, hőszigetelt, Argon gáz töltetű

5.3. Üzemeltetési beállítások

Az üzemeltetési beállításoknál megadtam a mesterséges megvilágítást, az elektromos áramot fogyasztó szükséges berendezéseket és a felhasználók viselkedését egy tipikus irodaház használatához szükséges munkakörülmények között. Az iroda és semi-office térben, azaz a magas komfort igényű helyiségekben a hűtési és fűtési rendszer átlagos energetikai és komfort igényeknek megfelelően lett méretezve. Az iroda helyiségekben légkezelő rendszer (AHU: 2.0 L/s m^2) biztosítja az átlagos légcseré sebességét ($\text{ACH} = 2.4$), mivel ott nincs természetes szellőztetési beállítás, valamint külső árnyékolás sincs. A semi-office levegő minősége a galéria és átrium téren keresztül biztosított, mivel ez a klímazóna minden falazata 50%-ban nyitott. A galéria és átriumtérben nem alkalmaztam hűtést és fűtést, valamint mesterséges szellőztetést,

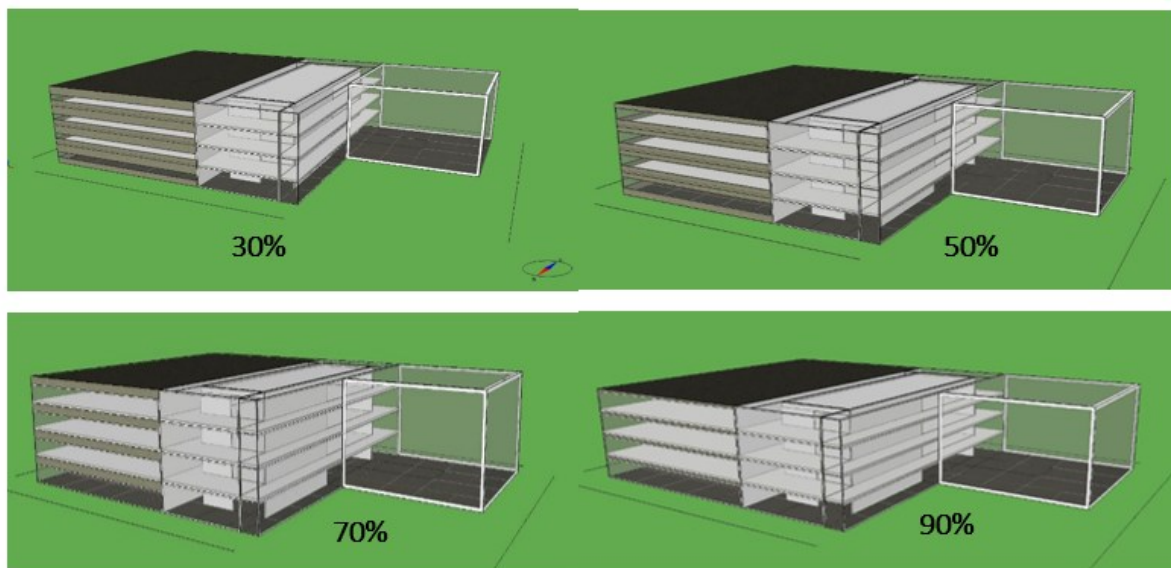
ugyanis ezek a funkciók teljes mértékben üvegezettek, így a szoláris hőveszteség és hőnyereség okozta eredmények jobban érvényesülnek gépészeti optimalizálás nélkül. Ezekben a helyiségekben a természetes szellőztetés mértékének beállításával, biztosítottam a megfelelő levegőminőséget egész évben, valamint ezáltal optimalizáltam túlmelegedés mértékét nyáron és a túlhűlés mértékét télen. A galéria és átrium tér üvegezett felületein külső mozgatható árnyékoló szerkezetet alkalmaztam.

A kísérleti modellek beállításánál a cél az volt, hogy a fő funkciókat ellátó irodahelyiségek főleg gépészeti üzemeltetést kapjanak, míg az átmeneti funkciókat ellátó átrium tér és galériák főleg passzív építészeti és természetes megoldásokkal működjenek. A semi-office pedig egy köztes funkció, mely az átrium-galéria térben található és vegyesen alkalmazok passzív és aktív üzemeltetést. Ez a döntés tudatos volt, melyben csak aktív, csak passzív és kombinált passzív-aktív üzemeltetésre számítottam következtetésekre. A beállításokat a 4. táblázat szemlélteti.

	IRODA	SEMI-OFFICE	GALÉRIA	ÁTRIUM
TERÜLET	1000 m ² /szint	300 m ² /szint	600 m ² /emelet	1000 m ²
AHU	2.0 L/s m ² , 2.4 ACH	-	-	-
FŰTÉS	elektromos fűtés: 100 W/m ²	elektromos fűtés: 100 W/m ²	-	-
HŰTÉS	elektromos hűtés: 200 W/m ²	elektromos hűtés: 200 W/m ²	-	-
ÁRNYÉKOLÁS	-	-	van	van
TERMÉSZETES SZELLŐZTETÉS	-	van	van	van
FELHASZNÁLÓK	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 100 fő (1 fő/10m²) ▪ 1.0 MET /fő ▪ 0,85 ±0,25 CLO ▪ 08-17 óráig hétköznap 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 30 fő (1 fő/10m²) ▪ 1.0 MET /fő ▪ 0,85 ±0,25 CLO ▪ 08-17 óráig hétköznap 	-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 4 fő (1 fő/10m²) ▪ 1.0 MET /fő ▪ 0,85 ±0,25 CLO ▪ 08-17 óráig hétköznap
BERENDEZÉSEK	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 150 db (1,5 db / fő) ▪ 120 W/db ▪ 08-17 óráig hétköznap 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 150 db (1,5 db / fő) ▪ 120 W/db 08-17 óráig hétköznap 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 150 db (1,5 db / fő) ▪ 120 W/db 08-17 óráig hétköznap 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 150 db (1,5 db / fő) ▪ 120 W/db 08-17 óráig hétköznap
VILÁGÍTÁS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 100 db ▪ 120 W/db ▪ 06-20 óráig hétköznap, ha természetes megvilágítás < 500 LX 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 30 db ▪ 120 W/db ▪ 06-20 óráig hétköznap, ha természetes megvilágítás < 500 LX 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 20 db ▪ 120 W/db ▪ 06-20 óráig hétköznap, ha természetes megvilágítás < 500 LX 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 20 db ▪ 120 W/db ▪ 06-20 óráig hétköznap, ha természetes megvilágítás < 500 LX

4. táblázat. Szimulációs modellek üzemeltetési beállításai

Miután a modellezés, és szimulációs beállítások elkészültek, következő lépésben az irodaszekciók homlokzati falazat-üvegezés arányának változtatása következett 30%, 50%, 70% és 90%-os arányban, melyet a 45. ábra szemléltet. A 30%-nál 90 cm parapet magasságot és 90 cm nyílászáró magasságot, az 50%-nál 90 cm parapet magasságot és 150 cm nyílászáró magasságot, a 70%-nál 0 cm parapet magasságot és 210 cm nyílászáró magasságot, míg 90%-nál 0 cm parapet magasságot és 270 cm nyílászáró magasságot alkalmaztam.



45. ábra. Irodater szekció WWR változatok

Következő lépésben a modellek különböző tájolási beállításokat kaptak, a 8 fő égtáj felé (észak, észak-kelet, kelet, dél-kelet, dél, dél-nyugat, nyugat és észak-nyugat). A fő tájolás meghatározásánál az irodaszekció leghosszabb homlokzatának tájolása lett véve.

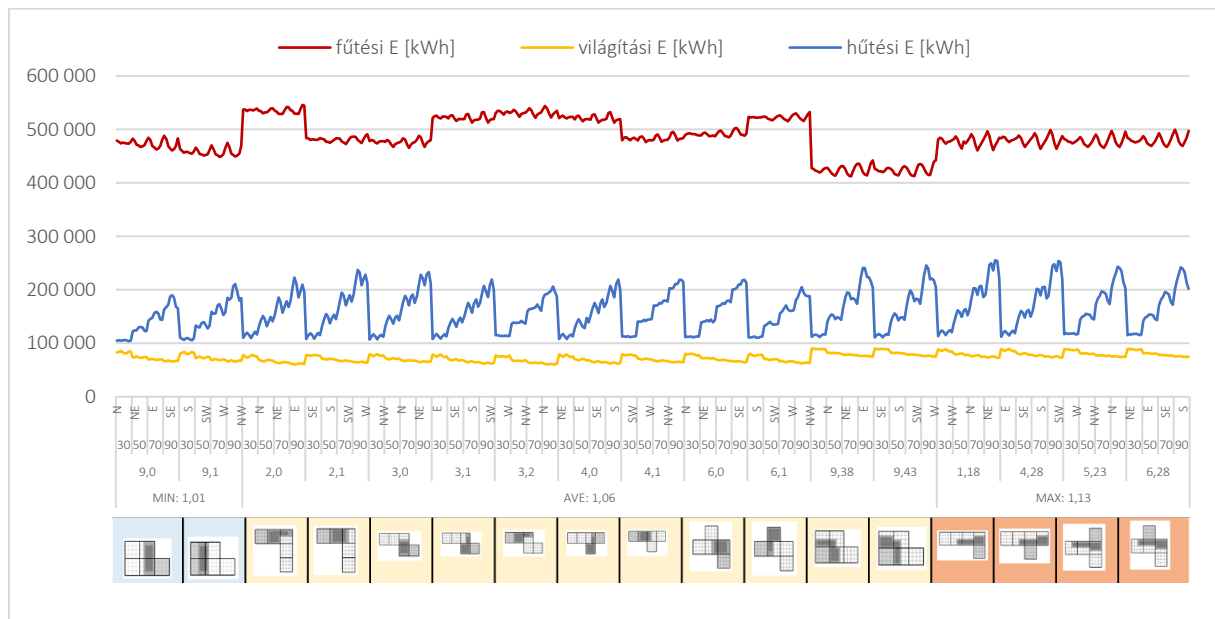
Miután az 544 modell szimulációi lefutottak az eredmények kiértékelése következett. A szimulációk során egész épületre vonatkozóan adatok kiértékelése zajlott a hűtési, a fűtési, valamint az megvilágítási energia kapcsán. Majd ezt követően egy általános igénybevételű, huzamosabb tartózkodású zóna kiválasztása történt, ami a 3. emeleti iroda helyiségére esett, ahol az operatív hőmérséklet, termikus komfortos órák száma és az általános természetes megvilágítottság tényező (DF) padlófelületre vetített eloszlásának aránya, mely értéke magasabb 1,7%-nál eredményei lettek kiértékelve és összehasonlítottva.

5.4. Szimulációs vizsgálat eredménye

5.4.1. Energiafogyasztás eredménye

544 szimuláció összehasonlító elemzését, először A/S szerinti sorrend által meghatározott geometriák eredményeivel kezdtem. Az energiafogyasztás mértéke a 46. ábrán látható.

Elől kék négyzetben a MIN csoport két modellje található 9. számú geometriával. Középen sárgával jelölt négyzetben az AVE csoport geometriái találhatóak, míg a végén narancs négyzetben a MAX csoport 4 db geometriája látható. A vízszintes tengelyen modellek verziói helyezkednek el É, ÉK, K, DK, D, DNY, NY, ÉNY tájolás sorrendje szerint, alatta 30, 50, 70 és 90 WWR sorrend szerint, azalatt a modell elnevezése látható, ahol az első szám a geometriára, a pont mögötti szám pedig az iroda-átrium elrendezés változatra utal, legallul pedig az A/S csoport értéke látható. A függőleges tengelyen az energiafogyasztás mértéke kWh-ban, pirossal a fűtési-, késsel a hűtési- és sárgával a világítási energiafogyasztás mértékének eredményei láthatóak egész évben, egész épületre nézve.



46. ábra. 544 szimulációs irodaépület modell energiafogyasztása

Látható, hogy az általam alkalmazott koncepcióban, a fűtési energia meghatározó mértékű. Ez meglepő eredménynek bizonyult, mivel irodaépületekben általánosságban a hűtési energia szokott mérvadó lenni. Megvizsgálva részletesen a klímazonákat, a galériákon elhelyezkedő semi-office funkcióknál tapasztaltam a legmagasabb értékeket fűtés szempontjából. A semi-

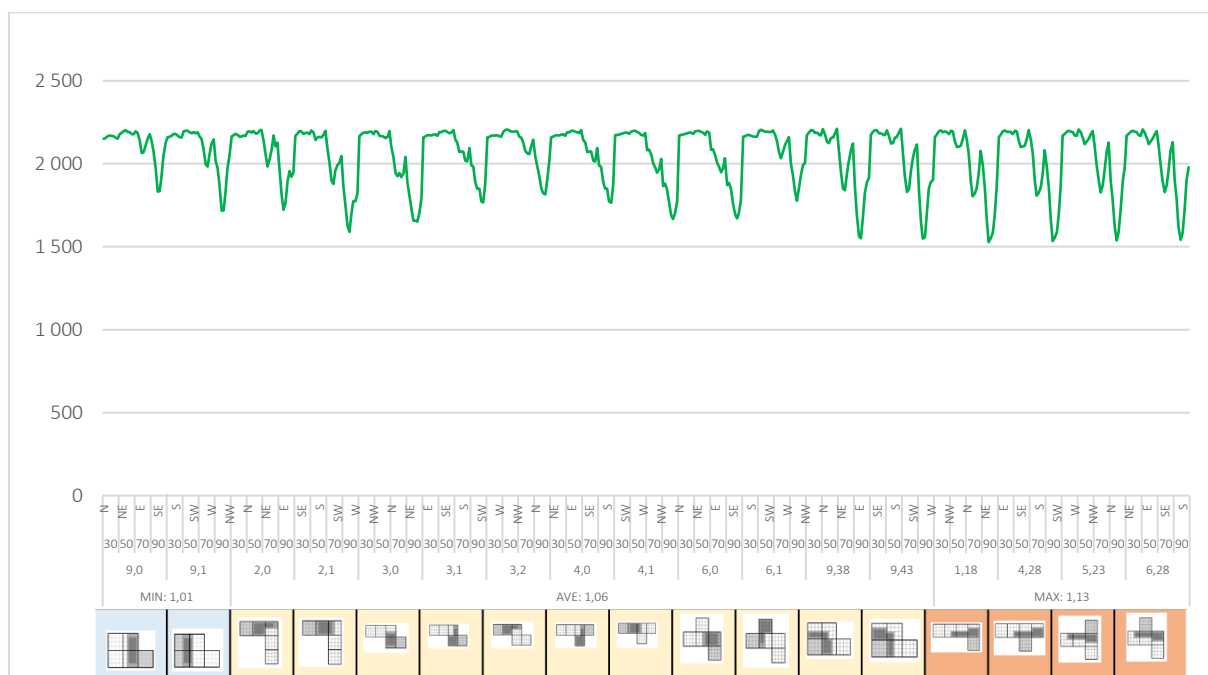
office-ok közel 4-szer annyi fűtést igényeltek, mint az irodák. Ez annak köszönhető, hogy az átrium-galéria térben nem alkalmaztam sem hűtést, sem fűtést, így ahhoz hogy a semi-office-ban megfelelő termikus komfort szintet lehessen előállítani, magas fűtési energia szükséglet alakult ki. Tehát az tapasztalható, hogy a semi-office nyitott tereinek köszönhetően, nem csak a semi-office-ban hanem az átrium térben is biztosította a megfelelő komfort szintet. Ebből következik, hogy a továbbiakban, a részletesebben kidolgozott modellnél szükséges mérlegelni az átrium fűtésének lehetőségeit. Azon kívül, hogy a fűtési energia a meghatározó energiafogyasztás, jelen beállítások mellett is jól leolvasható a grafikonról a különböző geometriák által eredményezett különbségek, valamint az A/S csoportok (MIN, AVE, MAX) változása is. Továbbá megállapítható, hogy az üvegezési arány nem befolyásolta a fűtési mutatókat, mivel a legkritikusabb helyiségek nem azok voltak, ahol a WWR változott. A tájolás hatásai már kismértékben, de megfigyelhetőek. A hűtési energiaigényre a különböző geometriáknak nincs hatása, kis mértékű növekedés figyelhető meg azonban az A/S csoportok mutatóiban. A MAX csoport geometriái nagyobb mértékű hűtési energiát igényelnek, mint a legtöbb AVE, valamint MIN csoport tagjai. A különböző tájolás hatásai már jobban érzékelhetőek, mint a fűtés esetében, azonban a legmeghatározóbb befolyásoló tényező az irodafunkciók fal-ablak arányának változása, mely minden épületkonfigurációs esetben azonos tendenciát mutat. Minél több üvegezett felületet alkalmaztam, annál több hűtési energiaszükséglet alakult ki.

A világítási energiafogyasztás szempontjából hasonló eredmények olvashatóak le, mint a hűtésnél, csupán fordítottan arányosan. Ez logikus eredmény, hiszen ahol 30%-os WWR figyelhető meg, ott több világítási energiaszükséglet alakult ki, mint az 50%-os, 70%-os vagy akár a 90%-os WWR eseténél. A tájolás kisebb mértékben érezhető, a geometria és A/S arány nem jellemzi a világítási energigény mutatókat.

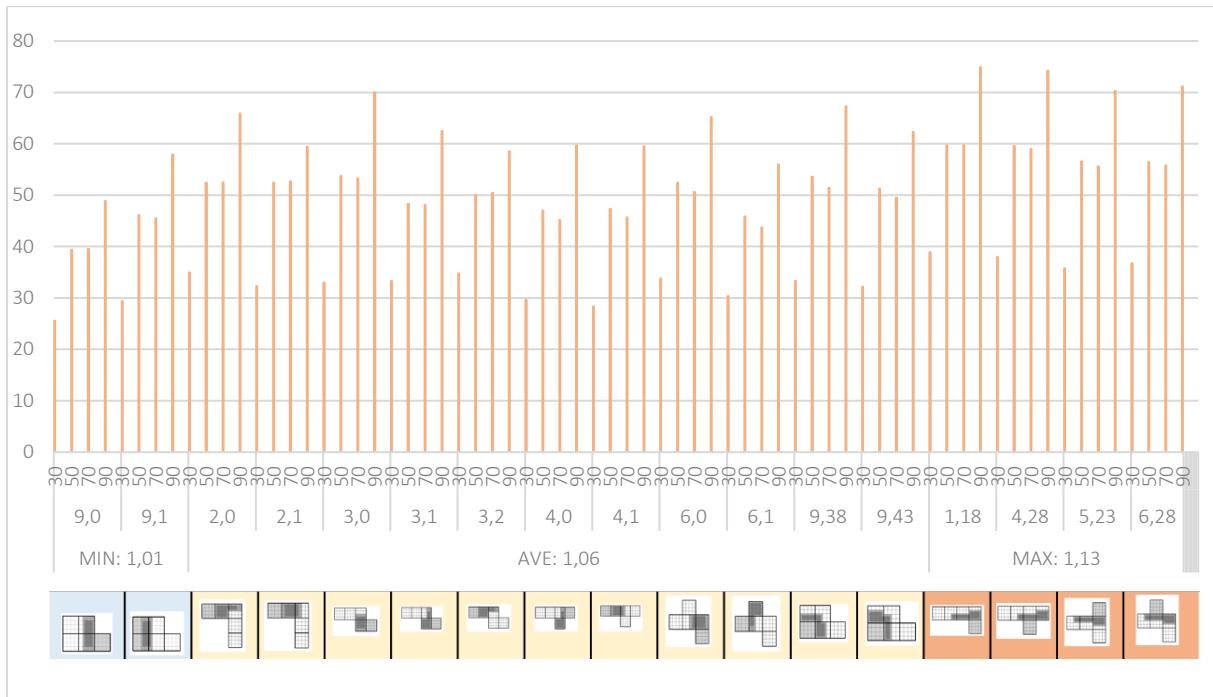
Összességében megállapítható, hogy a geometria hatott a leginkább fűtési energia teljesítményre, mely a legmeghatározóbb a teljes energiafogyasztás tekintetében. A hűtési és világítási energiafogyasztást pedig az iroda klímazónák WWR aránya befolyásolta a leginkább. A tájolás jelen épületkonceptió esetében nem mutat jelentős különbségeket, mely abból adódik, hogy minden homlokzat üvegezett.

5.4.2. Komfort eredménye

Komfort paraméterek kiértékelésénél a hőkomfortot és vizuális komfortot vizsgáltam a 3. emeleti iroda és semi-office térben. Hőkomfort esetében az operatív hőmérséklet szempontjából, néztem a komfortos órák számát a II. kategóriában. A 47. ábrán a vízszintes tengelyen láthatóak a modellek, A/S szerinti sorrendben, WWR és tájolás szerint, míg a függőleges tengelyen a komfortos órák száma egész évben.



magasabbak, mint 1,7 %. Az Y-tengelyen a százalékos értékek, az X-tengelyen pedig a modellek A/S sorrend és üvegezési arány szerint láthatóak.



48. ábra. DF >1,7 % eredmények

Az eredmények azt mutatják, hogy a 30%-os üvegezési aránynál jelentősen alacsonyabb (50%-kal) értékek születtek, mint a 90%-os WWR-nél, ahol a legmagasabb százalékos eredmények jelentkeztek. Az 50%-os és 70%-os fal-ablak aránynál, közel azonos az eredmény, azonban az 50% WWR értékek kis mértékben jobbak, mint a 70%-os esetekben. Ez azzal magyarázható, hogy az 50%-os üvegaránynál a nyílászárók szemöldöke magasabban, 240 cm magasságban helyezkednek el, mint a 70%-os esetekben, ahol 210 cm-en van a nyílászáró szemöldök, ezáltal nagyobb padlófelületet ért természetes megvilágítás. Továbbá megfigyelhető, ahol 4 iroda funkcióval rendelkező BG található a külső homlokzaton, ott magasabb arányú a DF érték keletkezett, mint ahol kevesebb számú iroda BG található. Ez az A/S MAX csoportba tartozó modelleknél tapasztalható. Tehát a belső térszervezés hatása inkább jellemző, mint a külső geometria hatása. A legjobb és legrosszabb DF értékek között 34%-os különbség figyelhető meg. A legjobb eredmények a 90%-os WWR, míg a legrosszabb eredményeket a 30%-os WWR mellett tapasztalhatóak. A tájolás itt nem jelentett befolyásoló tényezőt, mert minden homlokzat egyenlő mértékben üvegezett volt.

Összességében elmondható, hogy a vizuális és termikus komfort tényezőkre a leginkább a fal-ablak arány hatott, ezt követően kisebb mértékben a tájolás. A geometria szerepe nem befolyásolta a tényezőket, azonban a vizuális komfortnál van szerepe a belső térszervezésnek.

5.5. Fejezethez tartozó tézisek

T.3. EDOPT módszer alkalmazásával létrejött épület esetek termikus-dinamikus épületszimulációiból kapott komfort és energetikai paraméterek alapján kiválasztható a legoptimálisabb eset. Ezenkívül az eredményekből következtetni lehet az épületgeometria és a térszervezés hatásáról irodaépület tervezés során, ahol kijelenthető, hogy a fűtési energiafogyasztást befolyásolja legnagyobb mértékben.

- Elvégeztem az algoritmus által generált modellek épületté alakítását és szimulációs beállítások optimalizálását. Ezt követően 544 szimulációt futtattam le.
- A kapott eredményekből megállapítottam, hogy az úgynevezett multifunkciós átrium koncepció s irodaépületnél, általam alkalmazott beállítások mellett a geometria és térszervezés a fűtési energiamutatókra hatott legnagyobb mértékben és jól elkülönültek a különböző A/S hányados szerinti csoportok is.
- A hűtési, világítási energiafogyasztás és komfort mutatókat a tájolás, de legjelentősebb mértékben az üvegezési arány befolyásolta, a geometriának jelentős hatása nem volt rájuk.
- Mindazonáltal a térszervezés kis mértékben, de hatást gyakorolt a természetes megvilágítás mértékére, mely főleg olyan eseteknél volt tapasztalható, melyek a MAX A/S csoportba tartoztak. Azaz minél kisebb az energiahatékonyság, annál nagyobb szerepe van a térszervezésnek a vizuális komfort értékekre.
- A természetes megvilágítás értékei az 50 százalékos üvegaránynál nagyobbak voltak, mint a 70%-os esetben, ez a magasabban levő szemöldöknek volt köszönhető, ami a z 50%-os esetben 240 cm-en, a 70%-os verzióban pedig 210 cm-en volt.

6. EDOPT KUTATÁSI PROJEKT – OPTIMÁLIS ÉPÜLETMODELL MEGHATÁROZÁSA

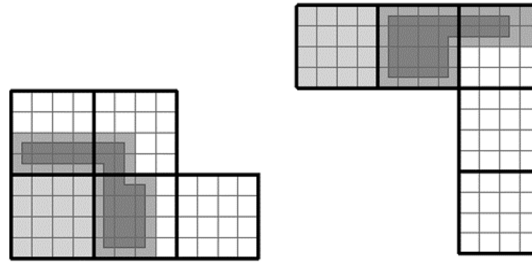
6.1. Súlyozott sorrend felállítása

A vizsgált energetikai igények és komfort paraméterek kiértékelését követően, egy súlyozásos módszert alkalmaztam, ahol az eredmények együttesen szerepeltek és határozták meg az optimális modellt. Ehhez először közös mértékegységre kellett hoznom az eredményeket. Az energiafogyasztás szempontjából egyszerű volt a feladat, mert ott minden eredmény kWh-ban volt. A komfort eredményeknél azonban a komfortos órák száma órában volt meghatározva, míg a természetes megvilágítás mértéke %-ban. Ezért a komfortos órákat is át kellett alakítanom %-os mértékegységre, amit úgy hoztam létre, hogy összeadtam az operatív hőmérséklet III. kategóriát tartalmazó (elfogadható) komfort órák számát, és a IV. kategória (elfogadhatatlan) komfort órák számával. Ezáltal megkaptam az összes komfortóra számot, mivel a III. kategória tartalmazza az összehasonlításban vizsgált II. kategóriát (jó) és I. kategóriát (legjobb) is. Ezt követően kiértékeltem a II. kategória százalékos arányát az összes komfort órákhoz képest, így a hőkomfort értékeket is megkaptam százalékban.

Következő lépésben meghatároztam a súlyozási százalék mértékét az energiafogyasztásban és a komfort paraméterekben. Az energiaigény esetében összeadtam az összes modell világítási, hűtési és fűtési eredményeit, majd egyesével átlagoltam őket. A világítási-, hűtési- és fűtési átlagot összeadtam, így megkaptam egy összesített átlag értéket. Ezt követően egyszerűen kiszámoltam, hány százalékát teszi ki az összatlagnak a világítási-, a hűtési és fűtési átlag értékek. Így megkaptam az egyes energiafogyasztások súlyozásának mértékét, ami a fűtés esetében 67,5%, a hűtésben 22,2% és a világítási energiában 10,2% lett. Ezután növekvő sorrendbe állítottam a világítási-, hűtési- és fűtési fogyasztások eredményeit, ahol 1-es pontszámot kapott a legkevesebb fogyasztás és 544-et a legtöbb fogyasztás. Ezeket a pontszámokat megszoroztam a megfelelő súlyozás mértékével, majd összeadtam a súlyozott pontszámokat.

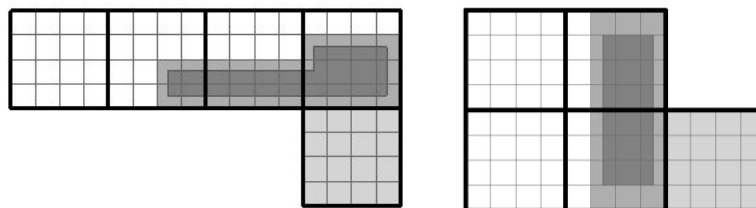
Az eredmények alapján megszületett a legtöbb és legkevesebb energiaszükségletű modell (49. ábra), melyből a legkevesebb energiát (619.865,4 kWh/év/egész épület) az AVE csoport, 9.38. számú (9. Geometria 38. Iroda-átrium felosztás), 30%-os WWR-t alkalmazó, Déli tájulású eset, míg a legtöbbet fogyasztó (817.469,8 kWh), leggazdaságtalanabb modell az AVE csoport, 2.0 számú, 90 WWR, nyugati tájulású modell lett. A legkevesebb és a legtöbb energiát fogyasztó

modell között csaknem 200.000 kWh különbség figyelhető meg, mely 24%-os különbözetet jelentett.



49. ábra. Balra a legkevesebbet-(9.38.), jobbra a legtöbbet (2.0.) fogyasztó modellek alaprajzai

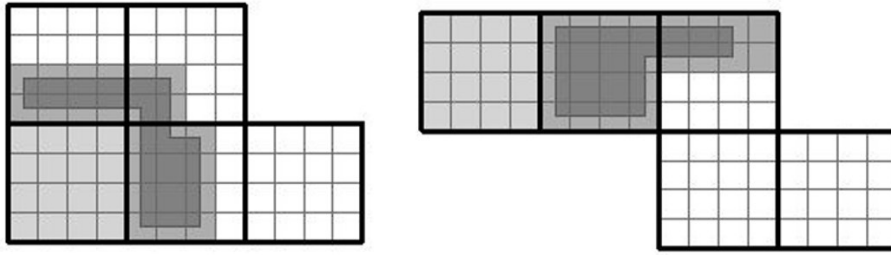
Ugyanezzel a módszerrel meghatároztam a komfort értékek súlyozásos értékét is, ahol az összes II. kategóriát tartalmazó komfortos óra százalékát és a természetesen megvilágított terület arányának százalékát ($DF > 1,7$) átlagoltam, az átlagolt értékeket összeadtam és meghatároztam a hőkomfort és vizuális komfort súlyát. A hőkomfort 64,4%-os, míg a vizuális komfort 35,5%-os súlyt ért el. A komfort paramétereknél csökkenő sorrendet alkalmaztam, így a legmagasabb hő- és vizuális komfort érték kapta az 1-es pontszámot, míg a legalacsonyabb az 544-es pontszámot, majd ezen sorszámokat a súllyal való szorzást követően összeadtam. Ami a legkevesebb pontot kapta az lett a legmagasabb vizuális és termikus komfort értékekkel rendelkező modell. A legjobb komfortot elérő modell a MAX csoport 1.18. (1.-es geometria, 18.-as térszervezés) geometria lett, 50%-os üvegezési aránnyal és észak-nyugati tájolással, ahol a termikus komfort órák száma a II. kategóriában 2202 óra volt, mely az összes komfortórának 96,71%-át jelentette, a vizuális komfort pedig 59,7%-os értéket ért el. A legalacsonyabb komfortot elérő eset a MIN csoport, 9.0 (9. geometria, 0. térszervezés) modellje lett, 90%-os WWR aránnyal és dél-keleti tájolással, ahol a komfort órák száma 1833 óra és 80,5 %-ot jelentett, míg a vizuális komfort 48,9%-ot ért el. Az 50. ábrán láthatóak az említett geometriák.



50. ábra. Balra a legmagasabb- (1.18.), jobbra a legalacsonyabb (9.0) komfort értéket elérő modellek alaprajzai

6.2. Optimális modell meghatározása

Végül már csak az energiafogyasztás és a komfort értékek összefésülése maradt hátra, melyek súlyozási értékét 50-50%-ban határoztam meg, ami azt jelenti, hogy sem az energetikai-, sem pedig a komfort paramétereket nem tartom fontosabb tényezőnek a másikkal, így logikus lépésként egyenlő mértékben súlyoztam őket. A súlyozás mértékén felhasználói preferenciák szerint lehet változtatni. Az összefésülés egyszerűen zajlott, minden egyes modell már rendelkezett súlyozott energetikai és komfort pontszámmal, ezeket a pontszámokat megszoroztam 50-50%-kal, majd összeadtam az így kapott pontokat. Az a modell, amelyik a legkevesebb pontot érte el, az lett az optimális megoldás alacsony energiafogyasztás és magas komfortszint teljesítménnyel. Az eredményül kapott optimális épületkonfiguráció az AVE csoport, 9.38 (9. geometria, 38. térszervezés) számú modellje lett, 50%-os üvegezési aránnyal északi tájolással. Éves összenergia fogyasztása 650.220 kWh, komfortos órák száma 2209 óra, 97%-kal és a vizuális komfort mértéke 53,6% volt. Ezzel szemben a legrosszabbul teljesítő modell az AVE csoport 3.2. (3. geometria, 2. térszervezés) számú konfigurációja lett, 90%-os fal-ablak aránnyal, délnyugati tájolással, ahol az éves energiafogyasztás 795.039,4 kWh, a komfortos órák száma 1815 óra, 79,71%-kal és a vizuális komfort értéke 58,5% volt. A súlyozott energetikai-komfort sorrend első és utolsó helyén szereplő modellek az 51. ábrán láthatóak. Energiafogyasztásban a legjobb és legrosszabb épület között közel 18% különbség (150.000 kWh) figyelhető meg, ami kb. 6.000.000.- Ft (kb. 15.000.- €) energiamegtakarítást jelent üzemeltetésben az optimális eset választása esetén. Az optimálisnak választott modell termikus komfort órák tekintetében 17,8%-kal ért el kedvezőbb eredményt, azonban vizuális komfort szinten 9%-kal kevesebb értéket adott az utolsó helyen lévő épületmodellhez képest. Személyes preferenciák szerint mérlegelhető, hogy melyik tényező a fontosabb, az általam végzett vizsgálat során objektív súlyozásra törekedve állapítottam meg, melyik épületverzió szolgáltatja összességében a legjobb eredményt. A vizuális komfort különbség mértékétől a termikus komfort kétszer jobb teljesítményt tudott nyújtani, jóval alacsonyabb energiafogyasztás mellett, így emiatt kijelenthető, hogy a 9.38-as épületverzió optimálisabb megoldás, mint a 3.2. modell.



51. ábra. Balra az optimálisnak választott modell (9.38.), jobbra a legrosszabbul teljesítő modell (3.2.) alaprajza

Továbbá megfigyelhető, hogy az energiafogyasztás súlyozott sorrendnél is a 9.38.-as épület geometria szerepelt az első helyen, azonban más üvegaránnyal és tájolással, míg a komfort súlyozott sorrend más eseteket eredményezett, ott a 9. helyen szerepelt, ami a vizsgált esetek első 2%-ba beletartozott, tehát kijelenthető, hogy ott is első modellek között szerepelt. A legnagyobb súlyozás mértékéből (67,5%) következtetve, jelen épülettervezési feladatban a fűtési energiafogyasztás volt a legjelentősebb ezt követte a termikus komfort- (64,4%), majd a vizuális komfort- (35,5%), a hűtési energia- (22,2%) és a világítási energia (10,2%) tényező. A fűtési energiaigény adatokra leginkább az épületgeometria hatott. Tehát a geometria szerepe az épület tervezési optimalizációban kulcsfontosságúnak mondható. A modellgenerálás során is a 9. számú épületgeometria szerepelt a legtöbb esetszámban és a szimulációs vizsgálatok eredményei is 9.-es geometriájú modellt igazolták legoptimálisabb épületesetnek. Jól látszik 9. számú geometria a legkompaktabb forma, a többi esethez képest.

6.3. Fejezethez tartozó tézisek

T.4. Egy objektív súlyozási sorrend módszerének alkalmazásával a termikus-dinamikus szimulációk eredményeit, felhasználói igényeknek megfelelő komfort és energiafogyasztás együttes szempontjából képes az optimális épületeset kiválasztására és ezen túlmenően az n-legjobb eset sorrendjének meghatározására.

- Meghatároztam, melyek azok az épület geometriák, melyek energiafogyasztás és komfort szempontból is szélsőséges eredményeket adtak. Azonban a jelen kutatásban folytatott optimalizáció nem csak a legjobb és legrosszabb eredményű esetet kereste, hanem képes volt úgy sorrendet felállítani, hogy egy 2%-os eltérésen belül lehetőséget adott más épületek kiválasztására is, ha éppen adott modell összesített eredményei kedvezőbbek voltak.
- Továbbá meghatároztam, egyes épületfizikai paraméterek százalékos súlyát az épületet meghatározó összen energetikai mutatókban. Megállapítottam, hogy a fűtés 67,5%-ban a legmeghatározóbb értékű paraméter, majd ezt követi a hőkomfort, a vizuális komfort, a hűtési- és a világítási energiaigény.
- Ezt követően létrehoztam egy pontozásos rendszert, ahol sorrendbe állítottam az eredményeket komfort és összes energiafogyasztás szempontjából, ahol az értékeket a megfelelő súlyozásos százalékkal megszoroztam. Ezáltal egy objektív sorrendet állítottam fel, ahol az energia és komfort értékeket már össze lehetett fésülni.
- Megállapítottam, hogy jelent tervezési feladatban a fűtési energiaigény és a hőkomfort súlyozásos értéke volt a legmagasabb, ebből következtetve ezek eredményei hatottak legjelentősebb mértékben az épület összen energetikai sorrendjére.
- Miáltal a fűtési energiaigényre a geometria és a térszervezés hatott a legnagyobb mértékben, a hőkomfortra pedig az üvegezési arány, ezáltal megállapítható, hogy ezek a passzív tervezési stratégiák a legjelentősebbek a példafeladat esetében.
- Megállapítottam, hogy az optimális épület-modell geometriája meggyezett az algoritmus által generált legnagyobb számú épületgeometriával, ami a legkompaktabbnak mondható, a többi esethez képest.

- Megállapítottam, hogy az EDOPT módszer alkalmazásával, objektíven kiválasztható az abszolút optimális eset, ahol komfort-energia szerint meghatároztam a legkevesebb energiaigényű, legmagasabb komfortszinttel rendelkező épületverziót, ami azt bizonyította, hogy más felhasználói szempontrendszerek szerint is elvégezhető az optimum kiválasztása.

7. VÉGSŐ EREDMÉNYEK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

Az EDOPT irodaépület tervezés optimalizációs fejlesztését, optimális épületverzió meghatározása céljából dolgoztam ki energiafogyasztás és komfort paraméterek alapján. Az összes lehetséges épületgeometria előállítható alaposan átgondolt és meghatározott építészeti szabályok szerint, modellgeneráló algoritmus alkalmazásának segítségével. Ezáltal a módszer további épülettervezések esetén is alkalmazható. A módszer kidolgozása nagyléptékű irodaépület esetén más módon történt, mint kisléptékű, lakóház tervezés során, bár az elv és a cél hasonló volt: energetikailag és komfort szempontjából az összes lehetséges eset előállítása és az optimális verzió kiválasztása. A kutatás során teljesen más építészeti szabályokat kellett meghatározni, mint a kisléptékes fejlesztés során. A geometria generálást végző algoritmus 2 dimenziós, alaprajz szerű kombinációkat hozott létre, ahol nem csak a geometria, de a belső térszervezés is vizsgálva volt. Ehhez a megfelelő szabályok meghozatalára volt szükség, amivel oly módon szűkíteni tudtam a keresési teret, hogy mindössze 17 modellt eredményezett a további vizsgálatok számára. Ahhoz, hogy ezek az alaprajzok 3 dimenziós épületkonceptiókká válhassanak, meg kellett modellezni komplex energetikai- és komfort szimulációs vizsgálatok szempontjából, ahol passzív építészeti módszerek alkalmazásával (árnyékolás, WWR, tájolás) további épületverziókat hoztam létre. Összesen 544 esetre nőtt a vizsgált modellek és az elvégzett szimulációk száma, ahol hiteles energetikai teljesítményeket kaptam. Az optimális eset kiválasztását egy objektív súlyozásos módszer alkalmazásával végeztem el komfort és energiafogyasztási paraméterek alapján. A peremfeltételeket legjobban teljesítő eset a 9.38. számú épületmodell lett, 9. számú épületgeometriával, 50%-os fal-ablak aránnyal rendelkező irodahelyiségekkel, északi tájolással, 428.128 kWh fűtési-, 139.620 kWh hűtési- és 82.472 kWh világítási energiaigénnyel, 2.209 óra „jó” minősítésű (II. kategória) komfortos órák számával és 53,6%-os természetes megvilágítási eredménnyel.

Jelen vizsgálat passzív épülettervezési stratégiák hatásaira összpontosított, mely aktív épületgépészeti rendszerek alkalmazásával egészült ki. Az eredmények alapján az épület forma hatott a legnagyobb mértékben a fűtési energiamutatókra, ami jelen tervezési feladat legmeghatározóbb teljesítménye volt. A belső térszervezés hatásai szintén a fűtési paraméterekre hatottak legnagyobb mértékben, valamint kisebb mértékben a vizuális komfort értékekre is befolyásossal bírtak. A WWR legnagyobb mértékben a hő- és vizuális komfort eredményeket, valamint a hűtési és világítási energia mutatókat jellemezte. A tájolás leginkább a hő- és vizuális komfortra hatott, a fűtési- és hűtési paramétereket kisebb léptékben befolyásolta. A különböző értékű A/S csoportok a leginkább a fűtési-, hűtési- és komfort eredményekben különültek el.

Összességében megállapítható, hogy modellgeneráló algoritmus alkalmazása az építészeti tervezés során képes az összes potenciális esetet előállítani, melyekből az abszolút optimális modell kiválasztható. Ezenkívül a vizsgálat eredményeképpen meg lehetett határozni az épületgeometria és térszervezés hatásait és azok mértékét. Kijelenthető, hogy kulcsfontosságú szerepük van az energiafogyasztás és vizuális komfort mértékére. Az általam vizsgált további passzív építészeti stratégiák alátámasztották az eddigi kutatások eredményeit, melyek összességét alkalmazva jelentős optimalizálás végezhető az épülettervezés során.

8. KITEKINTÉS

Az értekezésben elemzett módszer kifejlesztésének első, kezdetleges fázisa lett bemutatva, ahol az 544 szimulációs vizsgálat manuálisan, egyenként volt elvégezve és kiértékelve. Ez igen időigényes feladat volt. Annak érdekében, hogy a módszert széleskörűen alkalmazni lehessen, a folyamatok gyorsítása szükséges, amit szimulációk elvégzését helyettesítő adatbázis kidolgozásával lehetne elérni. Ezen kívül egy automatizált módszer kifejlesztésével meg lehet oldani nagyszámú adatkezelési problémákat, amennyiben több modell felel meg a meghatározott peremfeltételeknek. E feladatra egy mesterséges neurális háló kifejlesztése jelenthet megoldást, mely képes volna további épületfizikai teljesítményeket befolyásoló tényezők feltérképezésére, hogy ellenőrizni lehessen a modellgenerálás érvényességét. Az automatizálás során valószínűsíthető, hogy a meghatározott építészeti szabályrendszer módosítása, illetve felülbíráltása szükséges. Továbbiakban a módszer által tervezett épület validációját el kell végezni és mért valós adatokkal alátámasztani az eredményeket. Mindezek

után egy tervezési segédlet kidolgozására lenne szükség, mely szerepet képes vállalni az építész képzésben és útmutatóként szolgál az épülettervezésben.

9. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] M. Norouzi, M. Chàfer, L. F. Cabeza, L. Jiménez, and D. Boer, "Circular economy in the building and construction sector: A scientific evolution analysis," *J. Build. Eng.*, vol. 44, 2021, doi: 10.1016/j.job.2021.102704.
- [2] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, and C. Pout, "A review on buildings energy consumption information," *Energy Build.*, vol. 40, no. 3, pp. 394–398, 2008, doi: 10.1016/j.enbuild.2007.03.007.
- [3] A. Allouhi *et al.*, "Energy consumption and efficiency in buildings: Current status and future trends," *Energy Build.*, vol. 40, no. 3, pp. 1–48, 2016, doi: 10.1016/j.enbuild.2007.03.007.
- [4] X. Cao, X. Dai, and J. Liu, "Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade," *Energy Build.*, vol. 128, pp. 198–213, 2016, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.06.089.
- [5] IEA (International Energy Agency), *2019 Global Status Report for Buildings and construction*. 2019.
- [6] S. Szekeres, A. Kostyák, F. Szodrai, and I. Csáky, "Investigation of Ventilation Systems to Improve Air Quality in," *Build. Artic.*, vol. 12, no. 493, 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/buildings12040493>.
- [7] R. Guo, P. Heiselberg, Y. Hu, C. Zhang, and S. Vasilevskis, "Optimization of night ventilation performance in office buildings in a cold climate," *Energy Build.*, vol. 225, p. 110319, 2020, doi: 10.1016/j.enbuild.2020.110319.
- [8] R. Guo *et al.*, "Optimization of cool roof and night ventilation in office buildings: A case study in Xiamen, China," *Renew. Energy*, vol. 147, pp. 2279–2294, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.10.032.
- [9] T. Lim, W. S. Yim, and D. D. Kim, "Analysis of the Thermal and Cooling Energy Performance of the Perimeter Zones in an Office Building," *Buildings*, vol. 12, no. 2, pp. 1–15, 2022, doi: 10.3390/buildings12020141.
- [10] D. F. Espejel-Blanco *et al.*, "HVAC Control System Using Predicted Mean Vote Index for

- Energy Savings in Buildings,” *Buildings*, vol. 12, no. 1, 2022, doi: 10.3390/buildings12010038.
- [11] X. Shan, N. Luo, K. Sun, T. Hong, Y. K. Lee, and W. Z. Lu, “Coupling CFD and building energy modelling to optimize the operation of a large open office space for occupant comfort,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 60, no. September 2019, p. 102257, 2020, doi: 10.1016/j.scs.2020.102257.
- [12] J. Kang, S. Weng, Y. Li, and T. Ma, “Study of Building Demand Response Method Based on Indoor Temperature Setpoint Control of VRV Air Conditioning,” *Buildings*, vol. 12, no. 4, p. 415, 2022, doi: 10.3390/buildings12040415.
- [13] Y. Wang, Z. Quan, H. Jing, L. Wang, and Y. Zhao, “Performance and operation strategy optimization of a new dual-source building energy supply system with heat pumps and energy storage,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 239, p. 114204, 2021, doi: 10.1016/j.enconman.2021.114204.
- [14] M. Wang, L. Li, C. Hou, X. Guo, and H. Fu, “Building and Health: Mapping the Knowledge Development of Sick Building Syndrome,” *Buildings*, vol. 12, no. 3, 2022, doi: 10.3390/buildings12030287.
- [15] X. Chen, H. Yang, and W. Zhang, “Simulation-based approach to optimize passively designed buildings: A case study on a typical architectural form in hot and humid climates,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 82, no. June 2017, pp. 1712–1725, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.06.018.
- [16] S. Stevanović, “Optimization of passive solar design strategies: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 25, pp. 177–196, 2013, doi: 10.1016/j.rser.2013.04.028.
- [17] Z. Tian, X. Zhang, X. Jin, X. Zhou, B. Si, and X. Shi, “Towards adoption of building energy simulation and optimization for passive building design: A survey and a review,” *Energy Build.*, vol. 158, pp. 1306–1316, 2018, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.11.022.
- [18] S. Alghamdi, W. Tang, S. Kanjanabootra, and D. Alterman, “Effect of Architectural Building Design Parameters on Thermal Comfort and Energy Consumption in Higher Education Buildings,” *Buildings*, vol. 12, no. 3, 2022, doi: 10.3390/buildings12030329.

- [19] F. Bano and V. Sehgal, "Finding the gaps and methodology of passive features of building envelope optimization and its requirement for office buildings in India," *Therm. Sci. Eng. Prog.*, vol. 9, no. November 2018, pp. 66–93, 2019, doi: 10.1016/j.tsep.2018.11.004.
- [20] D. Maučec, M. Premrov, and V. Ž. Leskovar, "Use of sensitivity analysis for a determination of dominant design parameters affecting energy efficiency of timber buildings in different climates," *Energy Sustain. Dev.*, vol. 63, pp. 86–102, 2021, doi: 10.1016/j.esd.2021.06.003.
- [21] G. S. Hausladen Michael; Liedl, Petra; Sager, Christina, *Climate Design*. 2005.
- [22] F. Cappelletti, A. Prada, P. Romagnoni, and A. Gasparella, "Passive performance of glazed components in heating and cooling of an open-space office under controlled indoor thermal comfort," *Build. Environ.*, vol. 72, pp. 131–144, 2014, doi: 10.1016/j.buildenv.2013.10.022.
- [23] E. D. Giouri, M. Tenpierik, and M. Turrin, "Zero energy potential of a high-rise office building in a Mediterranean climate: Using multi-objective optimization to understand the impact of design decisions towards zero-energy high-rise buildings," *Energy Build.*, vol. 209, 2020, doi: 10.1016/j.enbuild.2019.109666.
- [24] T. Méndez Echenagucia, A. Capozzoli, Y. Cascone, and M. Sassone, "The early design stage of a building envelope: Multi-objective search through heating, cooling and lighting energy performance analysis," *Appl. Energy*, vol. 154, pp. 577–591, 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.04.090.
- [25] A. R. Amaral, E. Rodrigues, A. R. Gaspar, and Á. Gomes, "A thermal performance parametric study of window type, orientation, size and shadowing effect," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 26, pp. 456–465, 2016, doi: 10.1016/j.scs.2016.05.014.
- [26] F. Feng, N. Kunwar, K. Cetin, and Z. O'Neill, "A critical review of fenestration/window system design methods for high performance buildings," *Energy Build.*, vol. 248, p. 111184, 2021, doi: 10.1016/j.enbuild.2021.111184.
- [27] J. Zhao and Y. Du, "Multi-objective optimization design for windows and shading configuration considering energy consumption and thermal comfort: A case study for

- office building in different climatic regions of China,” *Sol. Energy*, vol. 206, no. September 2019, pp. 997–1017, 2020, doi: 10.1016/j.solener.2020.05.090.
- [28] M. David, M. Donn, F. Garde, and A. Lenoir, “Assessment of the thermal and visual efficiency of solar shades,” *Build. Environ.*, vol. 46, no. 7, pp. 1489–1496, 2011, doi: 10.1016/j.buildenv.2011.01.022.
- [29] A. I. Palmero-Marrero and A. C. Oliveira, “Effect of louver shading devices on building energy requirements,” *Appl. Energy*, vol. 87, no. 6, pp. 2040–2049, 2010, doi: 10.1016/j.apenergy.2009.11.020.
- [30] S. . Magri Elouadjeri and H. Boussoulim, A.; Ait Haddou, “Evaluating the Effect of External Horizontal Fixed Shading Devices’ Geometry on Internal Air Temperature, Daylighting and Energy Demand in Hot Dry Climate. Case Study of Ghardaïa, Algeria,” *Buildings*, vol. 11, 2021, [Online]. Available: <https://doi.org/%0A10.3390/buildings11080348>.
- [31] J. González and F. Fiorito, “Daylight design of office buildings: Optimisation of external solar shadings by using combined simulation methods,” *Buildings*, vol. 5, no. 2, pp. 560–580, 2015, doi: 10.3390/buildings5020560.
- [32] R. A. Mangkuto *et al.*, “Design Optimisation of Fixed and Adaptive Shading Devices on Four Façade Orientations of a High-Rise Office Building in the Tropics,” *Buildings*, vol. 12, no. 1, 2022, doi: 10.3390/buildings12010025.
- [33] Y. H. Lin, K. T. Tsai, M. Der Lin, and M. Der Yang, “Design optimization of office building envelope configurations for energy conservation,” *Appl. Energy*, vol. 171, pp. 336–346, 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.03.018.
- [34] V. Granadeiro, J. R. Correia, V. M. S. Leal, and J. P. Duarte, “Envelope-related energy demand: A design indicator of energy performance for residential buildings in early design stages,” *Energy Build.*, vol. 61, pp. 215–223, 2013, doi: 10.1016/j.enbuild.2013.02.018.
- [35] X. Chen, H. Yang, and J. Peng, “Energy optimization of high-rise commercial buildings integrated with photovoltaic facades in urban context,” *Energy*, vol. 172, pp. 1–17, 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.01.112.

- [36] I. L. Vasileva, D. V. Nemova, N. I. Vatin, R. S. Fediuk, and M. I. Karelina, "Climate-Adaptive Façades with an Air Chamber," *Buildings*, vol. 12, no. 3, p. 366, 2022, doi: 10.3390/buildings12030366.
- [37] C. Skaar, C. Lausset, H. Bergsdal, and H. Brattebø, "Towards a LCA Database for the Planning and Design of Zero-Emissions Neighborhoods," *Buildings*, vol. 12, no. 5, p. 512, 2022, [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/buildings12050512>.
- [38] Jani Mukkavaara and F. Shadram, "Improving Life Cycle Sustainability and Profitability of Buildings through Optimization: A Case Study," *Buildings*, vol. 12, no. 4, p. 497, 2022.
- [39] T. Du, S. Jansen, M. Turrin, and A. van den Dobbelsteen, "Effect of space layouts on the energy performance of office buildings in three climates," *J. Build. Eng.*, vol. 39, no. December 2020, p. 102198, 2021, doi: 10.1016/j.job.2021.102198.
- [40] A. AlOmani and K. El-Rayes, "Automated generation of optimal thematic architectural layouts using image processing," *Autom. Constr.*, vol. 117, no. April 2019, p. 103255, 2020, doi: 10.1016/j.autcon.2020.103255.
- [41] T. Du, M. Turrin, S. Jansen, A. van den Dobbelsteen, and J. Fang, "Gaps and requirements for automatic generation of space layouts with optimised energy performance," *Autom. Constr.*, vol. 116, no. June 2019, p. 103132, 2020, doi: 10.1016/j.autcon.2020.103132.
- [42] M. Almashaqbeh and K. El-Rayes, "Optimizing the modularization of floor plans in modular construction projects," *J. Build. Eng.*, vol. 39, no. November 2020, p. 102316, 2021, doi: 10.1016/j.job.2021.102316.
- [43] L. Zhang, L. Zhang, and Y. Wang, "Shape optimization of free-form buildings based on solar radiation gain and space efficiency using a multi-objective genetic algorithm in the severe cold zones of China," *Sol. Energy*, vol. 132, pp. 38–50, 2016, doi: 10.1016/j.solener.2016.02.053.
- [44] M. Kolokotsa, D.; Lilli, K.; Gobakis, K.; Mavrigiannaki, A.; Haddad, S.; Garshasbi, S.; Mohajer, H.R.H.; Paolini, R.; Vasilakopoulou, K.; Bartesaghi, C.; Prasad, D.; Santamouris, "Analyzing the Impact of Urban Planning and Building Typologies in Urban Heat Island Mitigation," *Buildings*, vol. 12, no. 5, 2022.

- [45] A. T. Nguyen, S. Reiter, and P. Rigo, "A review on simulation-based optimization methods applied to building performance analysis," *Appl. Energy*, vol. 113, pp. 1043–1058, 2014, doi: 10.1016/j.apenergy.2013.08.061.
- [46] S. Norouziasl, A. Jafari, and Y. Zhu, "Modeling and simulation of energy-related human-building interaction: A systematic review," *J. Build. Eng.*, vol. 44, no. February, p. 102928, 2021, doi: 10.1016/j.job.2021.102928.
- [47] V. Machairas, A. Tsangrassoulis, and K. Axarli, "Algorithms for optimization of building design: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 31, no. 1364, pp. 101–112, 2014, doi: 10.1016/j.rser.2013.11.036.
- [48] G. Laignel, N. Pozin, X. Geffrier, L. Delevaux, F. Brun, and B. Dolla, "Floor plan generation through a mixed constraint programming-genetic optimization approach," *Autom. Constr.*, vol. 123, no. November 2020, p. 103491, 2021, doi: 10.1016/j.autcon.2020.103491.
- [49] B. Baranyai, B. Póth, and I. Kistelegdi, "Planning and research of smart buildings and constructions with the 'Energydesign Roadmap' method," *Pollack Period.*, vol. 8, no. 3, pp. 15–26, 2013, doi: 10.1556/pollack.8.2013.3.2.
- [50] Horváth Kristóf Roland, "Energia Design Szintézis – Az Energia Design módszertan kiterjesztése algoritmikus geometria generáló és predikciós modellek felhasználásával," Pécsi Tudományegyetem, Breuer Marcell Doktori Iskola, doktori disszertáció, 2022.

10. SAJÁT PUBLIKÁCIÓK

FOLYÓIRATCIKKEK ANGOL NYELVEN:

- 2020. Comfort simulation supported sketch plan optimization of the University of Pécs, Medical school extension
POLLACK PERIODICA: AN INTERNATIONAL JOURNAL FOR ENGINEERING AND INFORMATION SCIENCES 15: 2 pp. 166-177. , 12 p. (2020)
- 2020. Energy simulation supported sketch plan optimization of the University of Pécs, Medical school extension
POLLACK PERIODICA: AN INTERNATIONAL JOURNAL FOR ENGINEERING AND INFORMATION SCIENCES 15 : 2 pp. 178-186. , 9 p. (2020)
- 2022. Algorithmic generation of building typology for office building design
BUILDINGS - Jelenleg elbírálás alatt (under review) (várható megjelenés 2022)
- 2022. EDOPT – Optimal office building design methodology for comfort and energy consumption
ENERGIES - Jelenleg elbírálás alatt (under review) (várható megjelenés 2022)

KONFERENCIA ELŐADÁSOK ANGOL NYELVEN:

- 2018. Optimization of sketch plan's building envelope and thermal mass with dynamic thermal and light building simulations – Modern Cities Program - 14th Miklós Iványi International PhD & DLA Symposium
- 2019. Optimal office building design method elaboration using the Energy Design Synthesis method
15th Miklós Iványi International PhD & DLA Symposium
- 2020. Office Building Optimization Using the Energy Design Synthesis Method
InnoRenew CoE International Conference 2020, Izola, Szlovénia

OKTATÁSI SEGÉDANYAG ANGOL NYELVEN:

- 2015. High Performance Building (HPB) Design Approach, Master of Science in High Performance Buildings: Module 1, MCAST-Malta College of Arts, Science &Technology
- 2015. Building Climatology, Master of Science in High Performance Buildings: Module 2, MCAST-Malta College of Arts, Science &Technology