



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

Építészmérnöki Kar  
Csonka Pál Doktori Iskola  
Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék

PhD Tézisfüzet

*Az emberi épülethasználati szokások elemzése és modellezése  
a tervezéstámogatás és az energetikai teljesítmény  
optimalizálás céljából*

**Deme Bélafi Zsófia**

2018

Témavezető: dr. Reith András

## RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

ACR	Air Change Rate (légcsereszám)
AHU	Air Handling Unit (légkezelő)
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating, Air-Conditioning Engineers
BCVTB	Building Control Virtual Test Bed
BEM	Building Energy Modelling (épületenergetikai modellezés)
BMS	Building Management System (épületüzemeltetési rendszer)
BPS	Building Performance Simulation (épületenergetikai szimuláció)
CBE	Center for the Built Environment, Berkeley
DHW	Domestic Hot Water (használati melegvíz)
DNAS	Drivers-Needs-Actions-Systems
FMI	Functional Mock-up Interface
FMU	Functional Mock-up Unit
HVAC	Heating, Ventilation and Air-Conditioning (fűtés, szellőzés, légkondicionálás)
IAQ	Indoor Air Quality (belső légminőség)
IDA ICE	IDA Indoor Climate and Energy
IDP	Integrated Design Process (integrált tervezési módszertan)
IEA EBC	International Energy Agency, Energy in Buildings and Communities Programme
IRB	Institutional Review Board
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
MODE model	Motivation and Opportunity as Determinants
NMBE	Normalized Mean Bias Error (normalizált átlagos torzítási hiba)
OB	Occupant Behaviour (épülethasználói viselkedés)
OBFMU	Occupant Behaviour Functional Mock-up Unit
OXML	Occupant Behaviour eXtensible Markup Language
PMV	Predicted Mean Vote (a várható hőérzeti szavazatok értéke)
PPD	Predicted Percentage of Dissatisfied (a hőkönyezettel várhatóan elégedetlenek százalékos aránya)
SCT	Social Cognitive Theory
SFH	Single Family House (családi ház)
SHOCC	Sub-Hourly Occupancy-Based and Complex Control Models
TPB	Theory of Planned Behaviour
$N_s =$	A szükséges mintaszám
$N_p =$	A populáció mérete
$p =$	A minta azon része, amely várhatóan egy választ ad (50% vagy 0,5 a legkonzervatívabb)
$B =$	Mintavételi hiba elfogadható mértéke (0,05=±5%; 0,03=±3%)
$C =$	Z statisztikai együttható konfidencia intervallummal (1,645=90% konfidencia szint; 1,960=95% konfidencia szint; 2,576=99% konfidencia szint)
$y_i$	Mért adat
$\bar{y}.$	Átlagos mért adat
$\hat{y}$	Modellezett adat

## 1. Bevezetés, a kutatás motivációja

Az elmúlt években mind a jogalkotás, mind az építőipari piaci trendek a magas energetikai teljesítményű, alacsony energiafogyasztású épületek fejlesztése felé mutatnak [1] [2]. Azonban mára már az is tény, hogy az emberi tényező figyelmen kívül hagyásával nem lehetséges valóban alacsony energiafogyasztású épületeket, pusztán modern technológiák segítségével működtetni [3] [4]. Az épülethasználói viselkedés az épületek energiafogyasztását befolyásoló egyik legfontosabb tényezővé vált [5]. Az épülethasználói viselkedés alatt jelen esetben az emberek komfort preferenciáját, jelenlétüket, mozgásukat és adaptív beavatkozásait értjük az épület energetikai rendszereibe, amelyek mind-mind hatással lehetnek az épület energiafogyasztására és komfort állapotaira (pl.: termikus, vizuális, akusztikus komfort szintek; belső levegő minőség). A beavatkozások lehetnek: termosztát állítás, ablak nyitás/zárás, árnyékoló behúzás/elhúzás, mesterséges világítás dimmelése, le/fel kapcsolása, elektromos fogyasztás a helyiségben, használati melegvíz fogyasztás.

Ahhoz, hogy az épületek energiafogyasztását csökkenteni tudjuk, ma már egyre elterjedtebb eszköz a dinamikus épületenergetikai szimulációk alkalmazása új épületek vagy felújítási projektek tervezési fázisában [6] [7] [8] [9] [10] [11]. A kutatók jelentős eltérést azonosítottak be az épületek (tervezési fázisban) becült és valós energiafogyasztása között. A legfontosabb kiváltó okok nem feltétlenül azok az egyértelműen leírható paraméterek, amelyekre a kutatások ezzel kapcsolatban az elmúlt évtizedekben fókuszáltak: pl.: határoló szerkezetek megvalósult fizikai paraméterei, épületgépészeti, világítási, elektromos rendszerek paraméterei. Annál inkább az épülethasználói viselkedés túlzottan leegyszerűsített modellezésére vezethető vissza a tervezési folyamat során [6].

Jelenleg az épülethasználati szokásokat az épületenergetikai szimulációs gyakorlatban leegyszerűsített, előre definiált, fix használati menetrendekkel írják le, amelynek köszönhetően, determinisztikus, homogén eredmények születnek, minden szimuláció futtatásnak ugyanaz az eredménye, így nem képesek az emberi viselkedés sztochasztikus, dinamikusan változó és diverz voltát visszaadni. Például egy ember számos okból kinyithatja az ablakot: (1) melege van (termikus komfort a motiváló tényező), (2) állottnak érzi a levegőt (belső légminőség a motiváló tényező) vagy (3) éppen megérkezett reggel (esemény motivált) [12]. Ezeket a motiváló tényezőket találta és mutatta ki számos nagy léptékű kérdőíves projekt és idősoros adatgyűjtési kutatás [13]; az ezekre a kutatásokra épített valószínűségi modelleket már számos épületenergetikai szimulációs szoftver képes beolvasni. Ezek a modellek valós adatokra építenek és általánosságban növelik az energetikai modellekben az emberek leírásának pontosságát [6].

Jelen kutatás célja az volt, hogy a kutatási terület eddigi eredményeire építve elősegítse az épülethasználói viselkedés megértését és épületenergetikai modellezését.

## 2. Kutatási kérdések

- I. Milyen számszerűsíthető hatása van az épületenergetikával kapcsolatos épülethasználói viselkedésnek iroda- és lakóépületek esetében? Milyen mélységben adnak teret a jelenlegi épülettervezési és üzemeltetés optimalizálási projektek az épülethasználói viselkedés elemzésére?
- II. Milyen motivációs tényezők és trendek figyelhetők meg a magyar irodaépületekben az épület energiafogyasztásával kapcsolatos használati viselkedésben?
- III. Az épületenergetikával kapcsolatos épülethasználói viselkedésre hatással van-e a fizikai környezet változása: ültetési elrendezés, környezeti szabályozási opciók és szervezeti fenntarthatósággal kapcsolatos kommunikáció változásai?
- IV. Milyen motivációs tényezők befolyásolják az ablaknyitási/zárási szokásokat egy iskolaépületben?
- V. Milyen módon lehet sztochasztikus épülethasználói modellekkel megtámogatni az épületenergetikai szimulációs gyakorlatot?

### 3. Alkalmazott módszerek

A szakterületen való kutatómunkámat irodalomkutatással kezdtem. Ezt követően két esettanulmányt folytattam valós építőipari projektek kapcsán, ahol egy iroda- és egy lakóépület esetén vizsgáltam és modelleztem az épülethasználói viselkedést dinamikus épületenergetikai szimulációk használatával, a piaci fenntarthatósági tanácsadási projekteknél tapasztalható idő és erőforrás ráfordítási lehetőségeken belül.

Habár ezen esettanulmányok során az épületenergetikai becsléseim pontosabbá váltak az egyszerűsített használói magatartás modellező módszereim hatására, azt a következtetést tudtam levonni, hogy jelentős igény van az épületeinkben tapasztalható emberi viselkedéssel kapcsolatos adatgyűjtésre. Szintén elengedhetetlen a jelenlegi épülethasználói magatartás modellezési eljárásaink fejlesztése annak érdekében, hogy piaci projektek esetén is alkalmazhatóvá váljanak.

Mindezért az ezt követő munkámban ezen igények kielégítésén fáradoztam. Három épülethasználói viselkedéssel kapcsolatos adatgyűjtési kampányt folytattam, ahol különböző módszereket alkalmaztam az adatgyűjtésre irodaépületek és egy általános iskola esetén: idősoros adatgyűjtés és -elemzés, kérdőívvezetés és interjúztatás.

Miután eltérő fizikai környezetekben gyűjtöttem adatokat, a felhalmozódott tudás potenciális épületenergetikai szoftverekbe való integrálásával folytattam a munkát, hogy az épülethasználói magatartás modellezés könnyebben alkalmazható legyen valós tervezési projektek esetén is. A kutatás ezen részében a modellezés módszertani kategorizálását végeztem el, illetve felépítettem egy épülethasználói modelleket tartalmazó szimulációs könyvtárat.

#### 3.1 Szakirodalom áttekintése és kritikai elemzése

A kutatás első lépéseként elvégeztem a szakterülethez tartozó szakirodalom áttekintését és kritikai elemzését, hogy beazonosítsam az épületenergetikával kapcsolatos épülethasználói viselkedés kutatásban a jelenlegi hiányosságokat, kevésbé kutatott részeket. A jelenleg rendelkezésre álló nemzetközi szakirodalom nagy része megtalálható a két témával foglalkozó két IEA EBC (Nemzetközi Energia Ügynökség, Energia, Épületek és Közösségek Programja) projekt, az ANNEX53 és ANNEX66, irodalom gyűjtésében [14][15]. Ezen kívül beazonosítottam a szakterület nemzetközi folyóiratait és archívumukat áttekintettem, hogy a tudományterület jelenlegi állását megismerhessem. A tudományos cikkek tanulmányozásán kívül lehetőségem nyílt számos témába vágó, nemzetközi konferencián, szimpóziumon és projekt megbeszélésen való részvételre, amelyeken megismerhettem a szakterület elismert kutatóinak műhelyeiben jelenleg folyó kutatásokat, trendeket és fókusz területeket. Rövid- és hosszútávú nemzetközi diákcsera programok segítségével (University of Nottingham, Norwegian University of Technology (NTNU) és Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL)) fizikailag is betekinhettem és bekapcsolódhattam a kutatóhelyeken folyó munkába és együtt sikerült kialakítani a kutatásaim vezérfonalát is.

Az épületenergetikai szimulációs szoftverekben történő épülethasználói modellezéssel kapcsolatos munkám alapjaként **áttekintettem a szakirodalmat** és összeállítottam egy listát 127 jelenleg elérhető **sztochasztikus épülethasználói modellt**, a következő kategóriákban:

*Épülethasználói viselkedés típusai:*

felhasználók mozgása az épületen belül; beavatkozás az alábbi környezeti szabályzókkal: ablakok, ajtók, árnyékolók, világítás, termosztátok, ventilátorok, épületgépészeti rendszerek, villamosenergia fogyasztás a helyiségben; meleg/hideg üdítők elfogyasztása, öltözők állítása.

*Épület típusok:*

iroda-, lakó-, és iskola épületek.

*Az áttekintett modellek publikálási éve:*

1970-2015.

Ezen modellek áttekintése hozzájárultak ahhoz, hogy átlássam a jelenlegi modellezési módszerek hiányosságait és jelenlegi fókusz területeit.

### 3.2 Dinamikus épületenergetikai szimuláció

Az I. tézisben is szereplő esettanulmányokban dinamikus épületenergetikai szimulációt alkalmaztam. A széleskörben elterjedt és megbízhatónak tartott IDA ICE szoftvert [16] [17] (1. ábra) választottam az éves energiafogyasztási és energiamegtakarítási értékek becslésére. Egy dinamikus energiamodell esetében kiemelkedően fontos a bemenő paraméterek körültekintő kiválasztása.

Az **irodaépülettel foglalkozó esettanulmányomban** (I/I altézis) két típusú modellt építettem a különböző vizsgálatok számára: egy részleges (egy szintet tartalmazó) modellt és egy egész épületet tartalmazó modellt. A bemenő paraméterek a két különböző modell esetében a következő képen alakultak:

*Részleges energetikai modell*

Az épülethasználói viselkedéssel kapcsolatos érzékenység vizsgálatokhoz az épület 2. szintjét tartalmazó részleges modellt használtam. A helyszíni bejárás, az interjúk eredményei és a BMS rendszerben tárolt fan-coil szelep állások alapján fel tudtam állítani a termosztát-használat modelljét. Ezt az esetet hasonlítottam ahhoz az esethez, amikor a felhasználóknak nincs lehetősége a termosztáton állítani, tehát a fan-coilok fix kívánt helyiség hőmérséklettel működnek: minimum 22.5 °C és maximum 24 °C. Ugyanezt a részleges szimulációs modellt használtam az ablaknyitási viselkedéssel kapcsolatos érzékenység vizsgálatokhoz is, ahol téli időszakban vizsgáltam az ablaknyitások frekvenciáját és időtartamát a fűtési energiafogyasztás függvényében. Ezek az elemzések segítettek az épület végleges, kalibrált modelljének beállításában.

*Egész épületet tartalmazó modell*

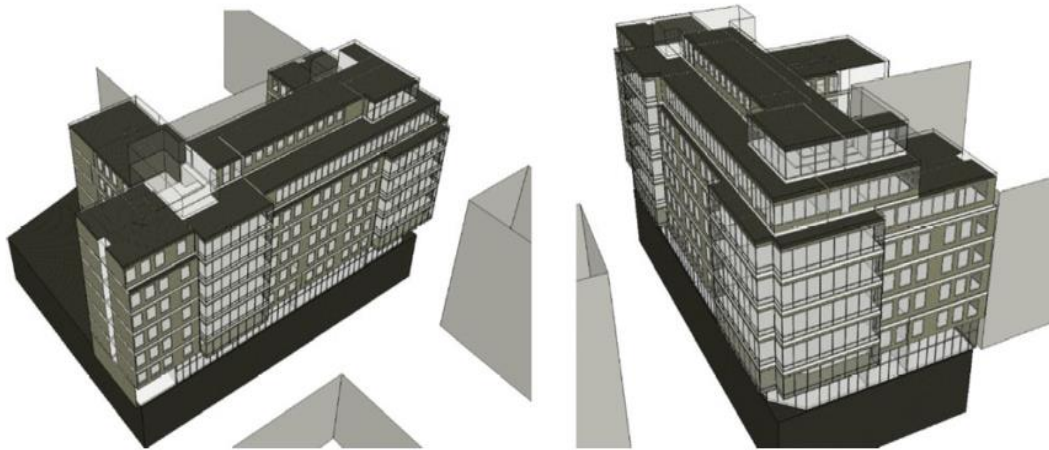
Az átfogó épületállapot felmérés eredményei alapján meghatároztam az egész épületet tartalmazó szimulációs modellben található határoló szerkezetek fizikai paramétereit. A megvalósulási tervet használtam az épület geometriájának és rétegrendjeinek meghatározásához. A hőhidak és légtömorség (ablakok és ajtók helytelen beépítéséből adódó hibák) modellezéséhez az épületről készített hőkamerás felvételeket használtam. Az épületgépészeti rendszerek modellje az épületben végzett energetikai audit alapján készült, amely magába foglalta a gázkazánt, hűtőgépeket és légkezelőket, illetve a szekunder oldali fan-coilokat is. Az épületenergetikai audit eredményei segítségével tudtam egy indirekt épülethasználói viselkedés elemzést készíteni (jelenlét, fan-coil használat (szelepállások), ablaknyitások, manuális árnyékoló vezérlés felülírás, irodai elektromos fogyasztás, világítás használat, saját elektromos fűtőtestek használata).

Az energetikai modell kalibrációjához az épület tulajdonosa rendelkezéseimre bocsátotta 5 év (2009–2013) közműszámláit és almérő állásait. A kalibrációs folyamat során állítottam a modellben az épület működési paraméterein az épületben tapasztalt használói magatartás alapján. A modell kalibráció minőségének meghatározásához az ASHRAE Guideline 14-2002-ban [18] definiált NMBE (normalizált átlagos torzítási hiba) értéket használtam. Ezt az irányelvet széles körben használják épületenergetikai

modellek kalibrációjára. Az elfogadható NMBE határérték havi adatok kalibrációja esetén 5%. Az NMBE értéket a következő egyenlet alapján kell számolni:

$$\text{NMBE} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)}{n \times \bar{y}_i} \times 100\% \quad (1)$$

ahol  $y_i$  a mért adat  $n$  adatponton, ezen pontok átlaga  $\bar{y}$ . Ezt az értéket hasonlítjuk a modellezett értékek ( $\hat{y}$ ) és a mért adatok különbségéhez.



1. ÁBRA – AZ IRODAÉPÜLET ENERGIAMODELLJÉNEK 3D NÉZETE AZ IDA ICE SZOFTVERBEN

A lakóépülettel foglalkozó esettanulmányban (I/II. altézis), passzív energiahatékonysági intézkedésekkel csökkentettem az épület energiafogyasztását egy parametrikus elemzés segítségével. Az éves energiafogyasztás becslésére dinamikus épületenergetikai szimulációkat futtattam az IDA ICE szoftver használatával.

Megvizsgáltam, hogy az épület éves energiafogyasztása milyen mértékben változik ha változik a bent lakók száma. Az érzékenységi vizsgálatoknál figyelembe vettem a fűtési/hűtési kívánt helyiség-hőmérsékletek változó beállítását és a helyiségek használatát. A következő háztartási összetételeket használtam az elemzéshez:

- 2 lakó: 2 felnőtt, mindketten dolgoznak
- 3 lakó: 2 felnőtt és egy gyerek
- 4 lakó: 2 felnőtt és 2 gyerek
- 5 lakó: 2 felnőtt, 2 gyerek és egy felnőtt a vendégszobában



2. ÁBRA – ALAPRAJZI ZÓNÁZÁS ÉS 3D NÉZET AZ ENERGIAMODELLRŐL AZ IDA ICE SZOFTVERBEN

### 3.3 Kérdőívek és interjúk

Sok esetben, amikor az épülethasználók viselkedését akarjuk vizsgálni, nem állnak rendelkezésre, objektív, mért adatok vagy nem értelmezhetőek önmagukban. Ezekben az esetekben a kérdőívek és interjúk hasznos eszköznek bizonyulnak, hogy kiegészítsünk egy meglévő adatsort (ld. a IV. tézisben összefoglalt projektben) vagy akár egy nagyobb mintaszám elérésével új tudásra tegyünk szert egy jelenleg még kevésbé kutatott területen (ld. II. és III. tézisben összefoglalt kutatások). Az adatgyűjtéseim során a következő transzverzális (egy időpontban, nagy mintát érintő) **kérdőívezéseket és interjúkat** végeztem el:

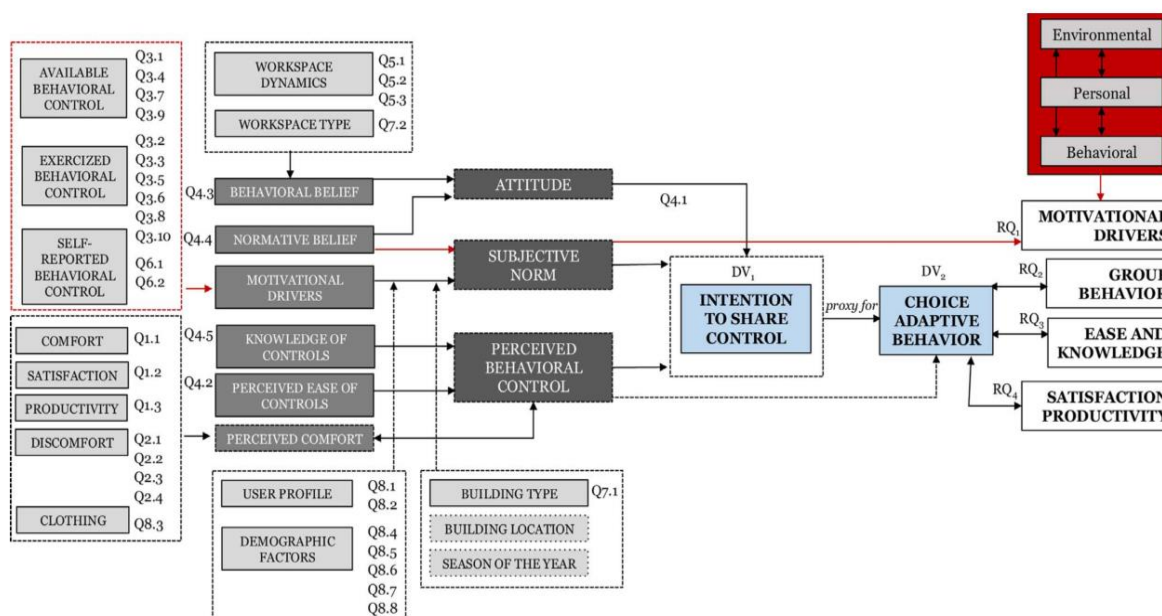
A 3.4 fejezetben bemutatott iskolaépülettel foglalkozó projektben **kvalitatív, egyéni interjúkat** tartottam a tanárokkal, akik a vizsgált osztálytermekben tanítanak. Az első tantermet (angol nyelvi terem) két angol tanár használta, egyikükkel tudtam interjút készíteni. A második tantermet (német nyelvi terem) csak egy tanár használta, akivel sajnos nem tudtam interjút készíteni, így az iskola igazgatójával tudtam interjút készíteni az ügyben, aki évtizedeken keresztül dolgozott a német tanárnővel és ismerte a napi rutinját, szokásait. Mindkét interjút telefonon folytattam le előre egyeztetett időpontokban, hogy az alanyoknak legyen lehetőségük egy kényelmes időpontot választani. Az interjúkat az adatgyűjtés befejeztével, 2017 novemberében folytattam le. Az összeállított interjú protokoll elég rugalmasságot biztosított az alanyoknak, hogy kötöttség nélkül kifejhessék véleményüket az ő általuk fontosnak tartott témákban. Ezzel párhuzamosan, az interjú közben folyamatosan ellenőriztem, hogy az előre meghatározott kérdéseimről szó esett-e a beszélgetés közben.

Habár a mintaszám nem teszi lehetővé az általánosítást, pontos képet fest arról, hogy hogyan használták a termeket, milyen napirendet követve és milyen attitűdű tanárok tartották itt az órákat.

Egy korábban három kollégámmal kifejlesztett multidiszciplináris (szociológus, építészmérnök, épületgépész mérnök) kutatási keretrendszer követve összeállítottunk egy 37 kérdésből álló **transzverzális kérdőívet**, amelynek magyar eredményeit a II. tézis foglalja össze. Az online kérdőív összeállításának célja egyrészt azon szociológiai, pszichológiai és demográfiai szempontok (független változók) felmérése volt, amelyek hatással lehetnek az épülethasználók viselkedésére, úgy, mint a szabályozási opciók megosztására való hajlandóság például (függő változók). Másrészt, hogy be tudjuk azonosítani, hogy egy csoport tagjaként a felhasználó milyen szabályozási lehetőséget választ a felmért független változókkal összevetve. Ezen kívül a kérdőív eredményeinek segítségével reményeink szerint kifejezhető lesz az épületek energiahatékonyságát biztosító rendszerek használóinak szociológiai és pszichológiai háttere (pl.: csoportos viselkedés), így lehetővé téve nem csak a fizikai paraméterek szimulációját energiamodelljeinkben, hanem a szociális kontextust is.

A kérdőívet 14 egyetemen és kutatóintézetben dolgozó tanszéki és adminisztratív munkatársakhoz juttattuk el 4 kontinensen (Amerika, Ázsia, Európa és Ausztrália) 6 országban (USA, Kína, Olaszország, Magyarország, Lengyelország, Ausztrália). A kérdőívezős adatgyűjtést jelenleg az amerikai, az olasz és a magyar projektfelelősök fejezték be. A kérdőív anonim és nem gyűjtünk semmilyen személyekhez kötött beazonosítható információt. A válaszokat a Qualtrics szoftver rögzíti a kitöltés dátumával és földrajzi koordinátákkal összerendelve.

Minden kérdőív kérdés egy vagy több független változót képvisel, hogy meg tudjuk mérni a kutatás kérdéses paramétereit (3. ábra). A személyiségi jogok megsértése nélkül leszűrhető továbbá a válaszokból az épület helye és a kitöltés évszáka, mint plusz paraméterek. Minden kutatási paramétert a válaszadók becsültek meg 5-fokú Likert skálán [19].



3. ÁBRA – A KIFEJLESZTETT KÉRDŐÍV RENDSZERE A KUTATÁSI KÉRDÉSEINK MÉRÉSÉHEZ: 37 KÉRDÉS FÜGGŐ ÉS FÜGGETELN VÁLTOZÓKHOZ RENDELVE [19]

A jövőbeli nemzetközi összehasonlítást elősegítendő, elemi fontosságú volt a szigorú és következetes fordítási folyamat előírása a projekt résztvevők számára. A kérdőívet eredetileg angol nyelven fejlesztettük ki és olaszra, lengyelre, magyarra és kínaira lett lefordítva. A kérdőív fordítási protokollt én dolgoztam ki annak biztosítása érdekében, hogy az egyes fordítások egymásnak mindenben megfeleljenek. Szemantikus, koncepcionális és normatív megfelelést tűztem ki célul a folyamat során. Ezt egy angolra való visszafordítási kör beiktatásával tudtam elérni a dupla fordítási módszert alkalmazva (DTP) [20]. Ilyen típusú feladatra ez az egyik legszélesebb körben használt fordítási protokoll.

A magyar adatgyűjtést én végeztem el, a Qualtrics kérdőív linket intézményi levelezőlistákon keresztül küldtem ki hat egyetemnek a nyári, meleg időszak alatt. (Adatgyűjtés: Április 18. – November 13. 2017) Két körben küldtem emlékeztetőt a résztvevőknek és biztosítottam nekik egy nyeremény sorsoláson való részvételt (3x5000 HUF írószer utalvány), hogy a válaszadási rátát növelni tudjam. Összesen 207 db érvényes válasz érkezett.

Ahogy a III. tézisben összefoglalt projekt leírásában is olvasható, két körben végeztem transzverzális kérdőívvezést, a saját magam által kifejlesztett kérdőív segítségével egy cég irodájának költözését megelőzően és azt követően is, a nyári időszakban. A kérdőív kifejlesztésének célja az volt, hogy információt tudjak gyűjteni az irodai dolgozók viselkedés változásáról a fizikai környezetük változásának hatására.

### 3.4 Idősoros adatgyűjtés és elemzés

Egy iskola épületben hosszútávú (8 hónap) méréseket végeztem azzal a céllal, hogy az ablaknyitási szokásokat tanulmányozzam két osztályteremben.

Két osztálytermet jelöltem ki a vizsgálathoz, ahol a tanárok beszámoló alapján a téli időszakban súlyos termikus komfort problémákkal küzdenek. Belső levegő hőmérséklet, CO<sub>2</sub> koncentráció mérőket és ablaknyitás érzékelőket kerültek elhelyezésre az osztálytermekben, hogy a problémát ki lehessen vizsgálni 2017 februárban. A belső érzékelők mellett kiépítettünk egy energetikai monitoring rendszert és



elhelyeztünk egy külső levegő hőmérséklet mérőt is (a teljes mérőpont listát lsd. alább). A projekt keretein belül 8 hónapnyi adat állt rendelkezésre a vizsgálatainkhoz: 2017.02.15-2017.09.20. Ebben az időszakban a nyári szünet 2017.06.15.-2017.08.31. közé esett. Az 1. táblázat tartalmazza a két osztályterem paramétereit.

1. TÁBLÁZAT – A KÉT VIZSGÁLT OSZTÁLYTEREM TULAJDONSÁGAI

Tanterem	1 (Angol)	2 (Német)
Emelet	2.	1.
Nettó alapterület	28,6 m <sup>2</sup>	28,6 m <sup>2</sup>
Belmagasság	3,8 m	3,8 m
Helyiség térfogat	109,6 m <sup>3</sup>	109,6 m <sup>3</sup>
Tájolás	DK	DK
Ablakok száma	2	2
Ablakok típusa	Kapcsolt gerébtokos	Kapcsolt gerébtokos
Diákok maximális száma	20	20
Tanteremben oktató tanárok száma	2	1

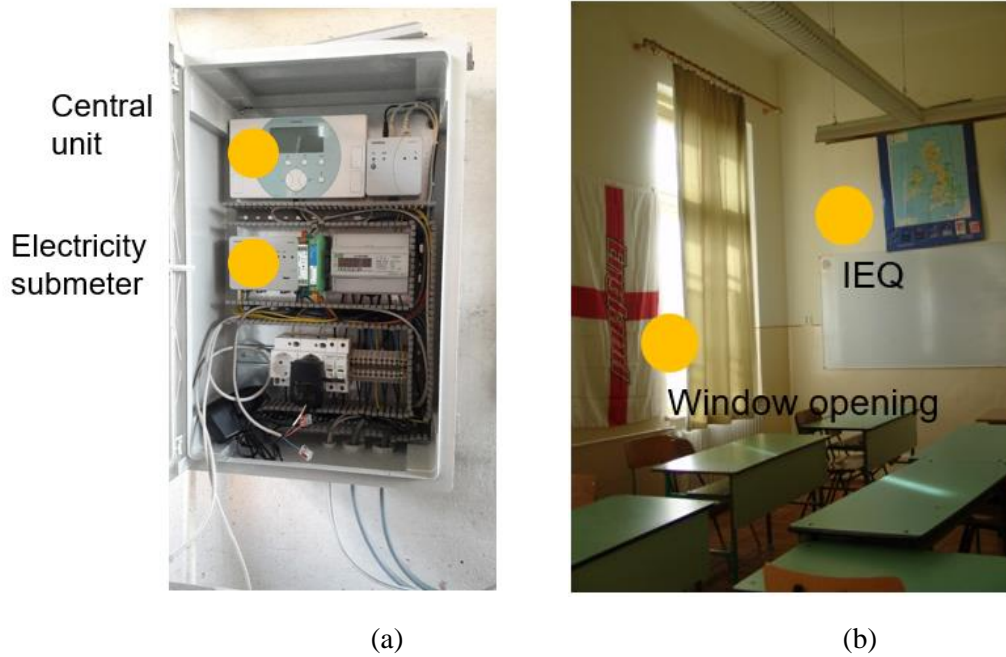
A monitoring rendszer mérési pontjai:

- Időjárás állomás: külső levegő hőmérséklet (Tout), mintavétel gyakorisága: 15 perc;
- Teljes épület elektromos energia fogyasztása, mintavétel gyakorisága: 15 perc;
- Teljes épület földgáz fogyasztása (kizárólag fűtési rendszer használja) mintavétel gyakorisága: 15 perc;
- Elektromos al mérés a fűtési rendszer fogyasztására, mintavétel gyakorisága: 15 perc;
- Léghőmérséklet, ablaknyitás érzékelők két tanteremben, CO<sub>2</sub> érzékelő 1 tanteremben, mintavétel gyakorisága: 30 mp.

2. TÁBLÁZAT – BELSŐ ÉS KÜLSŐ KÖRNYEZETI ÉRZÉKELŐK SPECIFIKÁCIÓI (SIEMENS, SYNCO LIVING, KALIBRÁLT RENDSZER)

Mért paraméter	Érzékelő	Érzékelők száma	Mérési tartomány	Pontosság	Adatgyűjtési frekvencia
Belső levegő hőmérséklet	QAA 910	2	0...50 °C	±2%	30 s
Külső levegő hőmérséklet	QAC 910	1	-50...50 °C	±2%	15 min
Belső CO <sub>2</sub> szint	QPA 2000	1	0...2000 ppm	≤± (50 ppm + 2 %)	30 s
Ablaknyitás	Gamma hullám	4 érzékelő 2 jellel	0 (zárt), 1 (nyitott)	N/A	30 s

A 4. ábrán fényképek láthatók a beépített monitoring eszközökről a központi egységnél az elektromos mérőkkel a bejárat mellett (a) illetve a beltéri érzékelőkkel az angol tanteremben (b).



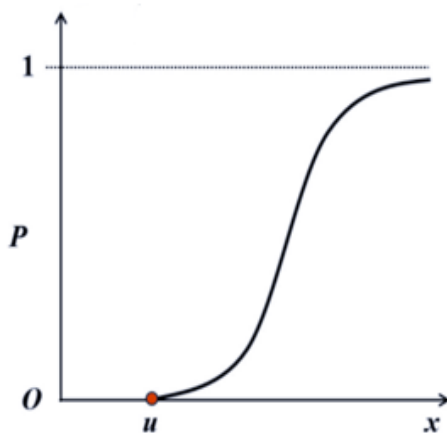
4. ÁBRA – A MONITORING RENDSZER RÉSZEI (A) KÖZPONTI EGYSÉG ÉS ELEKTROMOS ALMÉRŐ (B) BELTÉRI ÉRZÉKELŐK AZ OSZTÁLYTEREMBEN

Az idősoros adatok feldolgozása és elemzése: elsőként megtisztítottam az adatsort a kiugró, téves értékektől. Ezt követően megvizsgáltam a kapcsolatokat az ablaknyitási és -zárási beavatkozások és az idő, környezeti paraméterek, szociológiai paraméterek között. Korreláció elemzéssel majd lineáris és logisztikus regresszióval kerestem és modelleztem a kapcsolatokat a mért változók között. A korreláció erősségének tesztelésére statisztikai indikátorokat használtam.

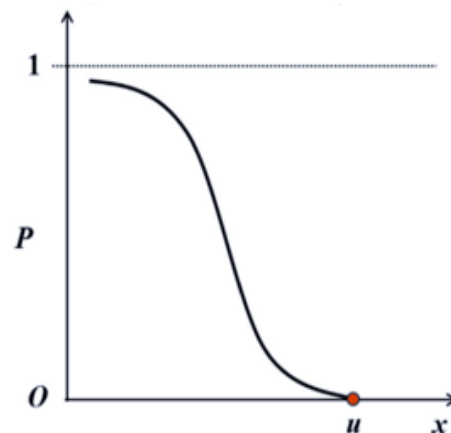
Miután megtaláltam a korrelációt, a lent ismertetett módszer segítségével leírtam a kapcsolatot stochasztikus épülethasználati modellek segítségével. A módszert az UNIVPM (Università Politecnica delle Marche) projektpartner kutatói fejlesztették ki.

### 3- TÁBLÁZAT – A WEIBULL FÜGGVÉNY [21]

$$P_{\tau}\{A\} = F(x_{\tau}) = \begin{cases} 1 - e^{-\left(\frac{x_{\tau}-u}{l}\right)^{\Delta\tau}} & \text{if } x_{\tau} > u \\ 0 & \text{if } x_{\tau} \leq u \end{cases}$$



$$P_{\tau}\{A\} = F(x_{\tau}) = \begin{cases} 1 - e^{-\left(\frac{u-x_{\tau}}{l}\right)^{\Delta\tau}} & \text{if } x_{\tau} < u \\ 0 & \text{if } x_{\tau} \geq u \end{cases}$$



A 3. táblázatban láthatók az “F” diszkrét Weibull kumulatív valószínűségi függvények. Az  $u$ ,  $l$  és  $k$  paraméterek konstansok, amelyek függetlenek a környezeti paraméterektől és az időtől;;  $\Delta\tau$  a diszkrét

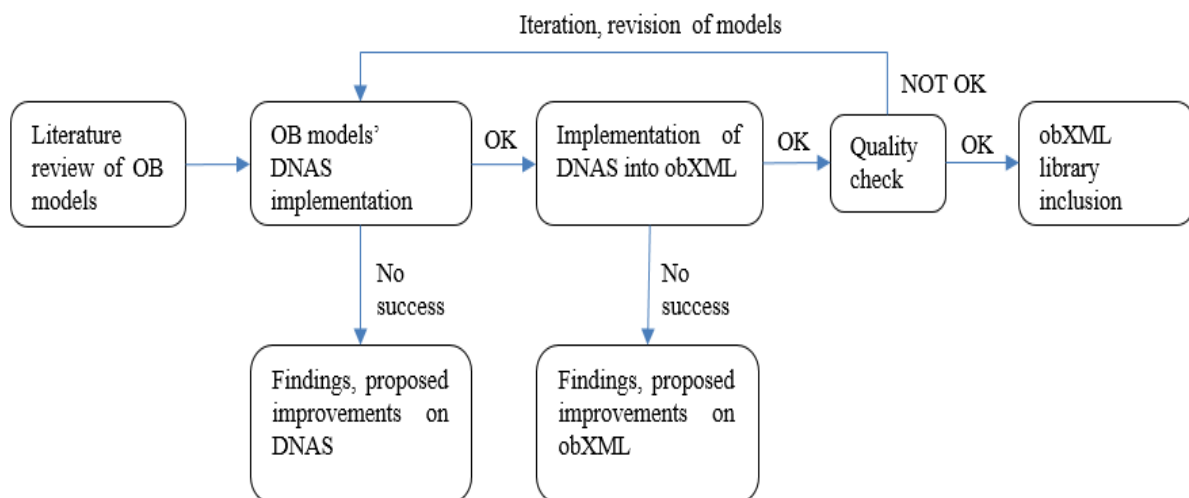
adatgyakoriság (time step) a mérésben; és  $\tau$  az idő konstans. A konstans paraméterekhez a következő fizikai jelentés csatolható:

- $u$  egy küszöbparaméter, amely azt a határértéket írja le, ahonnan már az emberi beavatkozás összefüggésbe hozható a környezeti paraméterrel, dimenziója az  $x$  paraméterével megegyezik, ahol  $x-u$  azt a távolságot fejezi ki, amennyire az adott környezeti paraméter meghaladja  $u$ -t;
- $l$  egy arányosítási tényező, amely a környezeti hatás lineáris hatását írja le.  $l > 0$  és ugyanaz a dimenziója, mint  $x$ -nek;  $x/(x-u)/l$  pedig egy dimenzió nélküli tag, amely  $x$  környezeti paraméterre vonatkozik;
- $k$  egy alakú tényező, amely az összefüggés rendjét adja meg:  $k > 0$ , és  $k$  dimenzió nélküli érték.

Az  $u$ ,  $l$  és  $k$  paraméterek adják meg, hogy az épületben tartózkodó várhatóan hogyan reagál a környezeti paraméterek változására.

### 3.5 OBXML könyvtár kifejlesztése

Egy sztochasztikus épülethasználoi modelleket tartalmazó könyvtár kifejlesztésének lépései láthatók a 4. ábrán. A könyvtárat az XML programozási sémában készítettem (obXML könyvtár).



5. ÁRBA – A KÖNYVTÁR KIFEJLESZTÉSÉNEK FOLYAMATÁBRÁJA

A modellek szakirodalmi áttekintését követően, azokat beleillesztettem a DNAS keretrendszerbe (motiváló okok – Drivers, szükségletek – Needs, beavatkozások – Actions és rendszerek – Systems). Ezt követően az emberi viselkedést (occupant behaviour - ob) leíró obXML sémát használtam arra, hogy a modelleket egy szabványosított módon írjam le. Az egyes DNAS elemeket megfeleltettem az obXML séma egyes elemeinek az összes modell esetében. Az illesztési lépéseket követően naplót készítettem a séma jelenlegi korlátozó tényezőiről és javaslatot tettem a séma jövőbeli fejlesztési irányaira. Az obXML séma illesztése közben meta-adatmezőket használtam a modellek alapadatainak rögzítésére, hogy a jövőben könnyebben szűrhető, kategorizálható könyvtárat kapjunk. Ezek a mezők a következő adatokat tartalmazzák: épület, beavatkozás, rendszer típusok, hivatkozás a szakcikkre, ahol publikálták, adatgyűjtési régió, adattípusok, az adathalmaz mintaszáma, amire a modellt építették. Minden épülethasználoi modellt egy külön XML fileban tároltam el, de lehetőséget biztosítottam, hogy több modellt is be lehessen integrálni egyetlen XML fileba. A kódolást követően leellenőriztem az XML fileok belső validitását az obXML séma legújabb verziója szerint. A modell kódolás megfelelőségét egy párhuzamosan dolgozó programozó manuálisan is ellenőrizte.

## 4. Tézisek

### I. Tézis

#### *A jelenlegi tervezési folyamatban tapasztalható épülethasználoi viselkedés modellezési lehetőségekről*

Megvizsgáltam és modelleztem az épülethasználoi szokásokat egy iroda- és egy lakóépület esetében, két magyar fenntarthatósági tanácsadói projekt korlátjain belül: egy épülettervezési és egy energetikai üzemeltetés-optimalizációs projekten. Habár az üzemeltetés-optimalizációs projekt esetében az épület energiafogyasztás-becslései pontosabbá váltak a módszereim alkalmazásának köszönhetően, kimutattam, hogy szükség lenne többlet információ gyűjtésére az épülethasználoi viselkedéssel kapcsolatban, illetve modellezési módszerek kifejlesztésére, amelyek tovább pontosítják energetikai becsléseinket és egyszerűbben alkalmazhatók.

**I/1** Egy magyarországi meglévő épület esetében, az épület energiafelhasználási mintázatainak modellezésére kalibrált dinamikus épületenergetikai szimulációt használtam. Az esettanulmányt egy részben automatizált szabályozású (automatikus árnyékoló és világítás szabályozás, fan-coilok termosztáttal szabályozhatók, nyitható ablakok) irodaépületben folytattam le a budapesti váci úti irodafolyosóról.

**Megállapítottam, hogy az épületben felmért irodai dolgozók fűtési és hűtési rendszer (fan-coil) használati szokásai az éves fűtési energiafelhasználást 10%-kal, az éves hűtési energiafelhasználást 5%-kal növelték meg ahhoz az esethez képest, amikor a dolgozóknak nem volt fűtési és hűtési szabályozási lehetősége [22].**

**I/2** Egy családi ház tervezési projekt keretein belül kimutattam a háztartásban élők éves energiafogyasztásra gyakorolt hatását dinamikus épületenergetikai szimuláció segítségével. Az épületben lakó 2, 3 és 5 fő eseteit hasonlítottam a 4 fős család, alapesethez. Az épülethasználókat a szimulációkban jelenléti menetrendekkel, a nem használt helyiségek automatikus termosztát határhőmérséklet visszaállításával illetve interakcióikkal (automatikus árnyékoló, világítás és ablaknyitó rendszerek manuális felülírása) modelleztem.

**Az eredményeim kimutatták, hogy a háztartásban lakók száma -6%-tól +10%-os eltérést okozhat az éves fűtési energia felhasználásban, a hűtési energia felhasználásban pedig -20%-tól +16%-ot [23].**

### II. Tézis

#### *A magyarországi irodahasználati viselkedésről*

Egy nemzetközi irodai dolgozók viselkedésével foglalkozó kérdőívezős projekt keretein belül [15] [19] [24], létrehoztam legjobb tudomásom szerint az első statisztikailag reprezentatív magyar irodai dolgozók viselkedésére vonatkozó adatbázist.

Az adatelemzésem eredményei alapján [25], a következő téziseket tudom megfogalmazni az irodai viselkedés motivációs tényezői, a szabályozási opciókkal kapcsolatos tudás, a csoportos viselkedés és a szabályozási műveletek preferált sorrendjét illetően:

### **II/1 Az irodai viselkedés motivációs tényezői, szabályozási opciókkal kapcsolatos tudás**

**A kérdőívet kitöltők válasza alapján kimutattam, hogy az ablaknyitás műveletét a friss levegő iránti igény ösztönzi leginkább minden évszakban (90%, 86%, 88%, 80% tavasz, nyár, ősz és tél évszakokban).**

A belső hőmérséklet szabályozása egy másodlagos motiváló tényező (56%) a nyári időszakban, azonban más évszakokban kevesebb jelentőséget mutat (36%, 28%, 28% tavasz, ősz és tél évszakokban). A szabályozási opciókkal kapcsolatos tudással foglalkozó kérdésekre adott visszajelzések szerint a dolgozók a legnagyobb magabiztossággal egyrészt a világítás kapcsolóit használják (4,72 átlagos szavazat 1-5-ös skálán, ahol az 5-ös válasz az állításokkal kapcsolatos teljes egyetértést jelöli), másrészt az ablakokat nyitják és zárják (4,71). Ezzel szemben a termosztátokkal és fűtőtest szelepekkel kapcsolatban kisebb tudással rendelkeznek (4,18). Az eredményekből megállapítható, hogy az esetek többségében nem tartanak oktatást az irodákban a bonyolultabb környezeti szabályzók használatáról. [25]

### **II/2 Csoportos viselkedés**

Mivel a minta 70%-a többszemélyes illetve open-office elrendezésű irodában dolgozik, ki tudtam mutatni csoportos viselkedési trendeket a környezeti szabályozók használatával kapcsolatban, amely a szakterülethez új ismeretekkel járul hozzá. 53% állította, hogy aszerint használják a környezeti szabályzókat, hogy a diszkomfortot kifejező kolléga igényeinek megfeleljenek.

**Az elemzéseim alapján, 23% tapasztalt csoportos megbeszélést az irodai környezeti szabályzók használatával kapcsolatban. A szabályzók használatával kapcsolatos megbeszélések legtöbbször az ablak nyitás illetve zárás (a válaszadók 69%-a érzékelte már) és a világítás kapcsolás (65%) körül zajlanak. Az ablakok esetében, a megbeszélések gyakorisága naponta több, míg a villanykapcsolóknál kevesebb, mint heti egyszer. [25]**

### **II/3 A szabályozási műveletek preferált sorrendje**

**A nyári időszakban amennyiben a dolgozók túl melegnek találják a környezetet, az ablak kinyitását végzik el először (207-ből 111 szavazat), a második preferált művelet egy hideg üdítő elfogyasztása (38 szavazat). Ezt követően zárják az árnyékolókat és állítanak az öltözkölkön. Ezzel szemben, ha túl hidegnek érzik, a válaszadók először az öltözkölkön állítanak (59 szavazat), majd bezárják az ablakot (42 szavazat) és végül isznak egy forró italt. [25]**

Ez a téma, a kutatási terület új ágának számít, amely lehetőséget nyújt arra, hogy az aktív (pl.: ablak, árnyékoló használat) illetve passzív (pl.: ivás, öltözkölk állítás) környezeti szabályozások arányát illetve sorrendjét meghatározzuk az irodai terekben.

Ez az adatbázis a jövőben alapjául szolgálhat az épületenergetikai optimalizációs projekteknek, mivel az eredmények használatával az emberi viselkedést pontosabban tudjuk leírni és modellezni.

## **III. Tézis**

### ***Az irodai dolgozók viselkedésváltozásáról***

Két körben folytattam kérdőíves adatgyűjtést egy cég dolgozóinak körében a telephelyük megváltozása előtt és után. A két adatsor összehasonlítása alapján kimutattam, hogy a cég dolgozóinak energiafogyasztással kapcsolatos viselkedése és energiamegtakarítási szándéka jelentősen megváltozott a költözést követően a fizikai környezet és a szervezeti fenntarthatósággal kapcsolatos kommunikáció változásai miatt [26]. Jól ismert viselkedési modellek szerint [27] [28] [29] [30], egy ember viselkedését mind belső, mind külső tényezők befolyásolják. Az elemzésem alapján a következő téziseket tudtam megfogalmazni:

### **III/I Fűtés és hűtés szabályozás, szabályozási opciókkal kapcsolatos tudás**

A hűtési és fűtési rendszer hatékonyságát illetően megvizsgáltam a szabályozási beavatkozások gyakoriságát és a szabályozási opciókkal kapcsolatos tudást.

**Kimutattam, hogy a hűtési rendszert a dolgozók hatékonyabbnak ítélik meg az új irodában, mint a régiben, így kevesebb alkalommal kapcsolják be (napi használat 66%-ról 30%-ra esett vissza). Ezzel szemben a fűtést többször kapcsolják be az új irodában (napi használat 18%-ról 30%-ra növekedett). Az eredmények szerint az új irodában tapasztalható bonyolultabb környezeti szabályozók miatt (összetett termosztát és programozható villanykapcsoló) kevésbé magabiztosan használják őket, és kevésbé hatékonyan. [26]**

### **III/II Ablaknyitás és szellőzés**

Megvizsgáltam, hogy az épülethasználók az irodaterben melyik környezeti szabályozási módot részesítik előnyben a termikus komfort érzetük helyreállításához illetve milyen gyakorisággal nyitják az ablakokat.

**A régi irodában a felhasználók az ablak nyitását és zárását használták a termikus komfort helyreállításához, míg az új irodában az öltözködés állítása történik meg először. A régi irodában az ablakot sokkal gyakrabban nyitották ki (88% napi ablaknyitás), mint az új irodában (55.2%). [26]**

### **III/III Energiamegtakarítási szándék**

Az adatbázis felhasználásával kimutattam, hogy az új, környezettudatos irodába való átköltözés hatására megváltozott a dolgozók energiamegtakarítás iránti hozzáállása mind az irodai környezetükben, mind otthonukban.

**Az eredményeim szerint a dolgozók a költözést követően a viselkedésüket jóval környezettudatosabbnak értékelik (előtte: 3,46 átlagos szavazat 1-7-es skálán, ahol 7 jelenti a teljes egyetértést a környezettudatos kijelentésekkel, utána: 4,41). Ez az új iroda épületének fenntarthatósági minőségének és a cég, a témában továbbfejlesztett kommunikációjának köszönhető. [26]**

Ebben a projektben, be tudtam azonosítani, hogy a külső tényezőknek pontosan mekkora hatása van az irodai dolgozók esetében. Az eredmények információt szolgáltathatnak jelenleg is a szakmában az épülethasználói modellek általánosításáról folyó vitákhoz.

## ***IV. Tézis***

### ***Egy iskolaépület ablaknyitást és -zárást befolyásoló tényezőiről***

Egy magyar iskolaépületben kiépítettem egy energetikai, környezeti és viselkedési monitoring rendszert. Két osztályterem 8 hónapnyi idősoros adatsorának elemzése alapján megállapítottam, hogy az ablaknyitási és -zárási viselkedést kiváltó tényezők jelentősen eltérnek az osztálytermekben a különböző tanárok által alkalmazott eltérő szokások, órarendek és iskolai szabályok miatt [31].

Az első osztályteremben (angol nyelvi terem, 2. emelet) gyűjtött adatok alapján fel tudtam építeni sztochasztikus épülethasználói modelleket az ablaknyitási és -zárási viselkedésre a belső és külső levegő hőmérséklet alapján.

**Az első osztályteremben, a viselkedési modellek erős korrelációt mutatnak az ablakhasználat és a környezeti paraméterek között (ablaknyitás modellek  $R^2$  értékei: 0.91 és 0.30 belső illetve külső hőmérséklet esetén, ugyanezek az értékek ablakzárásra: 0.89 és 0.71). [31]**

**A második osztályteremben (német nyelvi terem, 1. emelet) gyűjtött adatok alapján megállapítottam, hogy az ablaknyitás és -zárás kiváltó tényezői főleg szokásokból fakadnak,**

**órarendhez igazodó mintázatot mutatnak és nem mutat erős korrelációt (<15% változás a valószínűségi értékben) a környezeti paraméterekhez (belső-, külső léghőmérséklet CO<sub>2</sub>). [31]**

Az osztálytermetet használó tanárokkal folytatott interjúk segítségével beazonosítottam alapvető belső és szociológiai különbségeket, amelyek megmagyarázhatják a két teremben tapasztalt eltérő viselkedési mintázatokat.

Az első osztálytermet használó tanárok órája minden esetben eltérő termekben zajlottak, így a szünetekben vándoroltak a termek között.

**A tanárok a személyes megfigyeléseiket és a gyerekek panaszait (pl.: termikus komfort problémák) figyelembe véve nyitották ki az ablakokat. [31]**

A második osztálytermet mindössze egy tanár használta.

**A tanárnő nem hagyta el a termet napközben és az órák közötti szünetekben minden esetben kinyitotta az ablakokat, hogy „friss levegőt engedjen be” attól függetlenül, hogy hogyan alakultak a belső vagy a külső hőmérsékleti szintek. A gyerekek órák közbeni panaszait nem vette figyelembe viselkedésében. [31]**

Az ehhez hasonló jelenségeket a szakirodalom jelenleg kevésbé taglalja. Ez a projekt kihangsúlyozza a szakterület kutatói számára, hogy a viselkedés vizsgálatoknál a szociológiai és kulturális szempontok figyelembe vétele kiemelkedő fontosságú, minden egyes kutatási és kísérleti helyzetben.

## ***V. Tézis***

### ***Az épülethasználoi viselkedés modellezéséről épületenergetikai szimulációk esetében***

**Az épületenergetikai szimulációs eszközök áttekintése alapján létrehoztam egy kategorizálási rendszert a jelenlegi szoftverekben használatos épülethasználoi viselkedés modellezési módszereket: (1) direkt input és szabályzás, (2) beépített épülethasználoi modellek, (3) felhasználói függvények és program kódok és (4) koszimuláció. [12]**

Meghatároztam, hogy melyik eszköz melyik módszert képes használni. A fent leírt négy modellezési módszer közül az energiamodellezőknek a számukra legmegfelelőbbet kell kiválasztaniuk.

A döntésük megkönnyítése érdekében megfogalmaztam ajánlásokat a determinisztikus és a sztochasztikus modellezési módszereket illetően.

**A direkt input és szabályzás módszere determinisztikus napi menetrendekkel használható a legjobban, míg a koszimuláció esetében sztochasztikus modellek használata javasolt. A beépített épülethasználoi modellek lehetnek determinisztikusak és sztochasztikusak is. A felhasználói függvények és program kódok szintén mindkét modell típussal alkalmazhatók, viszont használatuk nem egyszerű és jelentős gyakorlatot igényelnek [12].**

Az előzőekben ismertetett szimulációs szoftver áttekintés és kategorizáció eredményeire építve, kifejlesztettem egy modell könyvtárat sztochasztikus épülethasználoi modellek számára. A modellezők kiválaszthatnak egy, a helyzetnek legmegfelelőbb sztochasztikus épülethasználoi modellt az épületenergetikai szimulációjukhoz ebből a könyvtárból.

**52 sztochasztikus épülethasználói modellt tekintetem át, kategorizáltam és programoztam fel egy nemzetközileg elfogadott, szabványosított számítógépes sémába (obXML). Ezek a modellek alkotják az obXML könyvtárat [32].**

## **5. Összefoglalás, jövőbeli kutatási irányok**

A szakterület eddigi eredményeire építve, új tudást tudtam hozzáadni ahhoz. Az épülethasználói viselkedés megfigyelésével foglalkozó kutatásaimmal létre tudtam hozni olyan adatbázisokat, amelyek különböző épülettípusok esetén új eredményekkel szolgálnak a szakma számára. Rávilágítottam, hogy az emberi viselkedést az épületekben nagy mértékben befolyásolják a kontextuális, szociológiai tényezők úgy, mint az irodai fizikai környezet, vagy a felhasználók napi rutinja.

A kutatásaimnak köszönhetően a sztochasztikus épülethasználói modelleket ma már egyszerűbben tudjuk épületenergetikai szimulációkban felhasználni. Ennek ellenére, minden modellezési feladatban kiemelet figyelmet kell fordítanunk a különböző kultúrájú, kontextusú helyzetekre, amely bizonyos szinten megkérdőjelezi az eddig kifejlesztett épülethasználói modellek általánosítható használatát.

A kutatásom jövőbeli irányként szeretném kijelölni és kiemelni a multidiszciplináris kutatás jelentőségét a szakterületen, amely véleményem szerint elengedhetetlen a jövőbeli kutatásaink sikerességé szempontjából. Az emberi viselkedés még mélyebb megismerését az teszi lehetővé, ha az emberi oldalra is nagy hangsúlyt fektetünk, más tudományágak, pl.: a szociológia és a pszichológia szempontjaira is.



## 6. Hivatkozások

### 6.1 A téziseket alátámasztó saját publikációk

- [12] T. Hong, Y. Chen, Z. Belafi, and S. D'Oca, "Occupant behavior models: Implementation and representation in building performance simulation programs," *Build. Simul.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–14, 2017.
- [22] Z. Belafi, T. Hong, and A. Reith, "Smart building management vs. intuitive human control—Lessons learnt from an office building in Hungary," *Build. Simul.*, vol. 10, no. 6, pp. 811–828, 2017.
- [23] Z. Deme Belafi and A. Reith, "A lakók hatása egy családi ház energiafogyasztására," *Metszet - print*, 2018.
- [25] Z. Deme Belafi and A. Reith, "Interdisciplinary Survey to Investigate Energy-Related Occupant Behaviour in Offices – The Hungarian case," *Pollack Period. - Submitt. December 2017 - Under Rev.*, 2018.
- [26] Z. Deme Belafi, D. Jakub, A. Reith, and V. Novakovic, "Energy-related Occupant Behavior Change Analysis and Building User Activity Detection - A Case Study in a Hungarian Office Space –," *ACM BuildSys 2017 Conf. Delft*, 2017.
- [31] Z. Deme Belafi, F. Naspi, M. Arnesano, A. Reith, and G. M. Revel, "Investigation on Window Opening and Closing Behavior in Schools Through Measurements and Surveys: A Case Study In Budapest," *Build. Environ. - Submitt. Febr. 2018 - under Rev.*, 2018.
- [32] Z. Belafi, T. Hong, and A. Reith, "A Library of Building Occupant Behaviour Models Represented in a Standardised Schema," *Energy Effic. - Submitt. 2016 October, under Rev.*, 2018.

### 6.2 Egyéb idézett saját publikációk

- [2] Z. Belafi, A. Gelesz, and A. Reith, "Investigation on the differences between LEED , BREEAM and Open House assessment systems by means of two Hungarian case studies," in *SB13 munich, Implementing Sustainability - Barriers and Chances*, 2013, pp. 32–39.
- [7] A. Gelesz, Z. Belafi, and A. Reith, "Energihatékonyság ingyen, avagy az integrált tervezési módszer előnyei – „Magyar ház 2020” esettanulmány," *Metszet*, 2012.
- [8] Z. Belafi, A. Gelesz, and A. Reith, "Öko-logikus építés és a piszkos anyagiak: ami számít, és ami nem," *Metszet*, 2013.
- [9] Z. Belafi, A. Gelesz, and A. Reith, "Energy , Cost and Comfort-Based Single Family House Optimisation with Regard to Future Climate," *Magy. Épületgépészet*, vol. LXIV. évf. no. 2015/1-2., pp. 1–6, 2015.
- [10] Z. Belafi, A. Gelesz, and A. Reith, "Comparison of the Cost and Energy Efficiency of Energy Saving Measures in Case of a Hungarian Single Family House," in *Proceedings of Building Simulation 2013 Conference, Chambery*, 2013, pp. 734–741.
- [11] A. Gelesz, Z. Belafi, and A. Reith, "Which way does it cost less to build net zero energy buildings?," in *SB13 munich, Implementing Sustainability - Barriers and Chances*, 2013, pp. 541–550.

- [17] K. D. Deme, Z. Belafi, A. Gelesz, and A. Reith, “Genetic Optimisation of Indoor Environmental Parameters for Energy Use and Comfort - A Case Study for Cool-Humid Climate,” *IBPSA Build. Simul. Conf. - Hyderabad, India*, 2015.
- [19] S. D’Oca, C. Chen, T. Hong, and Z. Belafi, “Synthesizing building physics with social psychology: An interdisciplinary framework for context and behavior in office buildings,” *Energy Res. Soc. Sci.*, vol. 34, no. July, pp. 240–251, 2017.
- [24] Z. Belafi, T. Hong, and A. Reith, “A Critical Review on Questionnaire Surveys in the field of Energy-Related Occupant Behaviour,” *Energy Effic. - Submitt. 2016 February, under Rev.*, 2018.

### 6.3 Egyéb források

- [1] EPBD, “Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast),” 2010.
- [3] T. Hong, D. Yan, S. D’Oca, and C. Chen, “Ten questions concerning occupant behavior in buildings: The big picture,” *Build. Environ.*, vol. 114, pp. 518–530, 2016.
- [4] C. Turner and M. Frankel, “Energy Performance of LEED ® for New Construction Buildings,” *New Build. Inst.*, pp. 1–46, 2008.
- [5] A. Mahdavi and C. Pröglhöf, “User behaviour and energy performance in buildings,” *6. Int. Energiewirtschaftstagung an der TU Wien*, pp. 1–13, 2009.
- [6] D. Yan *et al.*, “Occupant behavior modeling for building performance simulation: Current state and future challenges,” *Energy Build.*, vol. 107, pp. 264–278, 2015.
- [13] W. O’Brien and H. B. Gunay, “The contextual factors contributing to occupants’ adaptive comfort behaviors in offices – A review and proposed modeling framework,” *Build. Environ.*, vol. 77, pp. 77–87, Jul. 2014.
- [14] H. Polinder *et al.*, “Final Report Annex 53 - Occupant behavior and modeling,” 2013.
- [15] D. Yan and T. Hong, “IEA EBC Annex 66,” 2014. [Online]. Available: <http://annex66.org/>.
- [16] “IDA Indoor Climate and Energy (accessed: 01.03.16).” .
- [18] ASHRAE, “ASHRAE Guideline 14: Measurement of Energy and Demand Savings.” 2002.
- [20] S. Y. McGorry, “Measurement in a cross-cultural environment: survey translation issues,” *Qual. Mark. Res. An Int. J.*, vol. 3, no. 2, pp. 74–81, Jun. 2000.
- [21] F. Stazi and F. Naspi, *Impact of Occupants’ Behaviour on Zero-Energy Buildings*, SpringerBr. Cham, Switzerland: Springer Nature, 2018.
- [27] E. Matthies, I. Kastner, A. Klesse, and H.-J. Wagner, “High reduction potentials for energy user behavior in public buildings: how much can psychology-based interventions achieve?,” *J. Environ. Stud. Sci.*, vol. 1, no. 3, pp. 241–255, 2011.
- [28] I. Ajzen and M. Fishbein, “Attitude-behavior relations: A theoretical analysis and review of empirical research.,” *Psychol. Bull.*, vol. 84, no. 5, pp. 888–918, 1977.
- [29] R. Netemeyer, M. Van Ryn, and I. Ajzen, “The theory of planned behavior,” *Organizational Behav. Hum. Decis. Process.*, vol. 50, pp. 179–211, 1991.
- [30] A. Reckwitz, “Toward a Theory of Social Practices A development in culturalist theorizing,” *Eur. J. Soc. Theory*, vol. 5, no. 2, pp. 243–263, 2002.