

Irodaépület üzemeltetésének optimalizációja dinamikus szimulációval

Kovács Helga¹ – Dr. Horváth Miklós¹

Abstract

Given the fact that the building stock contributes significantly to the global energy consumption and CO₂ emissions, an energy conscious building use can save large amount of energy, both at building level and globally. Building energy simulation software provide an opportunity to estimate the energy efficiency and energy consumption of buildings with high accuracy, thus they are also suitable for estimating energy saving potentials. Occupants pose one of the biggest challenges among the parameters influencing the energy consumption of buildings, as their presence, behaviour, operation of equipment, interference with the building's control system have a significant impact on the energy consumption of the building, thus on potential savings.

In this paper the energy consumption of a municipal office building in Budapest was examined using dynamic simulation software (*DesignBuilder*). The first model (Audit) was created based on the actual building usage and it was validated with measured data. Then different energy saving methods in connection with building operation and occupant behaviour were analysed (heating setback, more economic DHW consumption, more energy-conscious ventilation strategy, controlled lighting and reduction of night standby consumption of office equipment) and their energy saving potentials were examined individually and summarized. The reduced heating temperature had the greatest energy saving potential in gas consumption (34% reduction compared to the Audit model) and controlled lighting and reduced standby office equipment consumption caused the highest energy saving in case of electricity (14% reduction compared to the Audit model).

Kulcsszavak

Felhasználói viselkedés, energiafogyasztás modellezés, energiahatékonyság, dinamikus szimuláció, irodaépület

Bevezetés

Tekintve, hogy az épületek az Európai Unió teljes energiafogyasztásának 40%-át, CO₂ kibocsátásának 36%-át adják [1], tudatos épülethasználattal jelentős energia takarítható meg mind épület, mind globális szinten.

Az épületenergetikai szimulációs szoftverek lehetőséget nyújtanak az épületek energiahatékonyságának, energiafogyasztásának nagy pontosságú becslésére, ezáltal alkalmasak energiamegtakarítási potenciál becslésére is [2].

Az épületek energiafogyasztását számos paraméter befolyásolja, amelyek közül különös figyelmet érdemel az emberek jelenléte, ugyanis az épülethasználók jelentős hatással bírnak az épület működésére. Jelenlétükkel (hőleadás, nedvességhelzés) és aktivitásukkal (berendezések működtetése, épület szabályozási rendszerébe történő beavatkozás) befolyásolják az épület energiahatékonyságát és az épület rendszereinek energiafelhasználását [3].

Számos kutatás rámutat arra, hogy pontos szimulációs modell elkészítéséhez elengedhetetlen a valós felhasználói viselkedés és épülethasználat ismerete [4, 5]. Különböző módszerek léteznek a felhasználói viselkedés kutatására: pl. adatgyűjtés, viselkedési modellek alkotása, konkrét esetekkel való alátámasztás, illetve többféle forrásból történhet a megfelelő mennyiségű és minőségű adatok gyűjtése a felhasználói hatás pontos figyelembevételéhez [6, 7].

Irodaépületek energiafogyasztásában fontos tényező az irodai berendezések és szerver központok fogyasztása. Egy iroda energiafelhasználásának több, mint 80%-át az alábbi három elem adja: fűtés/légkondicionálás, világítás, IT berendezések [8]. Az irodai kisteljesítményű berendezések nemcsak az épület villamosenergia fogyasztásából tesznek ki jelentős részt, hanem a belső hőnyereséghez is nagymértékben hozzájárulnak, így fontos ezek megfelelő modellezése egy épületenergetikai szimuláció során [9, 10].

Jelen tanulmányban egy budapesti önkormányzati épület energiafogyasztását vizsgáltuk dinamikus szimulációs szoftver (*DesignBuilder*) segítségével. Az épület jelenlegi üzemeltetését figyelembe véve, számos területen lehetne csökkenteni az energiafelhasználását, így elemeztük, hogy bizonyos felhasználói magatartással, épületüzemeltetéssel összefüggő beavatkozásokkal milyen mértékű energiamegtakarítást lehetne elérni. A kiindulási, jelenlegi épülethasználatot bemutató modellt mérési adatokkal történő validáció után több lépésben módosítottuk a javasolt energiamegtakarítási beavatkozások vizsgálatához.

A vizsgált épület bemutatása

Az épületenergetikai szimulációhoz választott épület a Böszörményi utca 23-25. szám alatt található XII. kerületi (Hegyvidék) önkormányzati épület, amely 1940-ben épült és négy emelettel, egy földszinti és egy alagsori (összesen 6) szinttel

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék



rendelkezik, hasznos alapterülete 3407 m². Az **1. ábrán** az épület utcaképe látható, a **2. ábra** a földszint alaprajzát szemlélteti. A nyílászárók jelentős részét 2010-ben kicserélték duplaüvegezésű műanyag ablakra és egy Uniós társfinanszírozású projekt keretében (TOGETHER - Towards a Goal of Efficiency THrough Energy Reduction) okosmérőket telepítettek az épületbe, amelyek mérik a víz-, gáz- és elektromos áramfogyasztást 2017 októberétől kezdve.



1. ábra. Az önkormányzati épület utcaképe

Az épület gépészeti rendszerét tekintve: két alacsony hőmérsékletű gázkazán biztosítja a fűtéshez és használati melegvíz készítéshez szükséges melegvizet. A hőleadók az épületben termosztatikus szeleppel ellátott régi tagos radiátorok.

Az összes iroda és közlekedő folyosó klimatizált, a hűtés Daikin VRV rendszerrel van megoldva (amelynek kültéri egységei a tetőn kaptak helyet, a beltéri egységek az irodákban és közlekedőkben a mennyezet alatt találhatók), továbbá fűtési

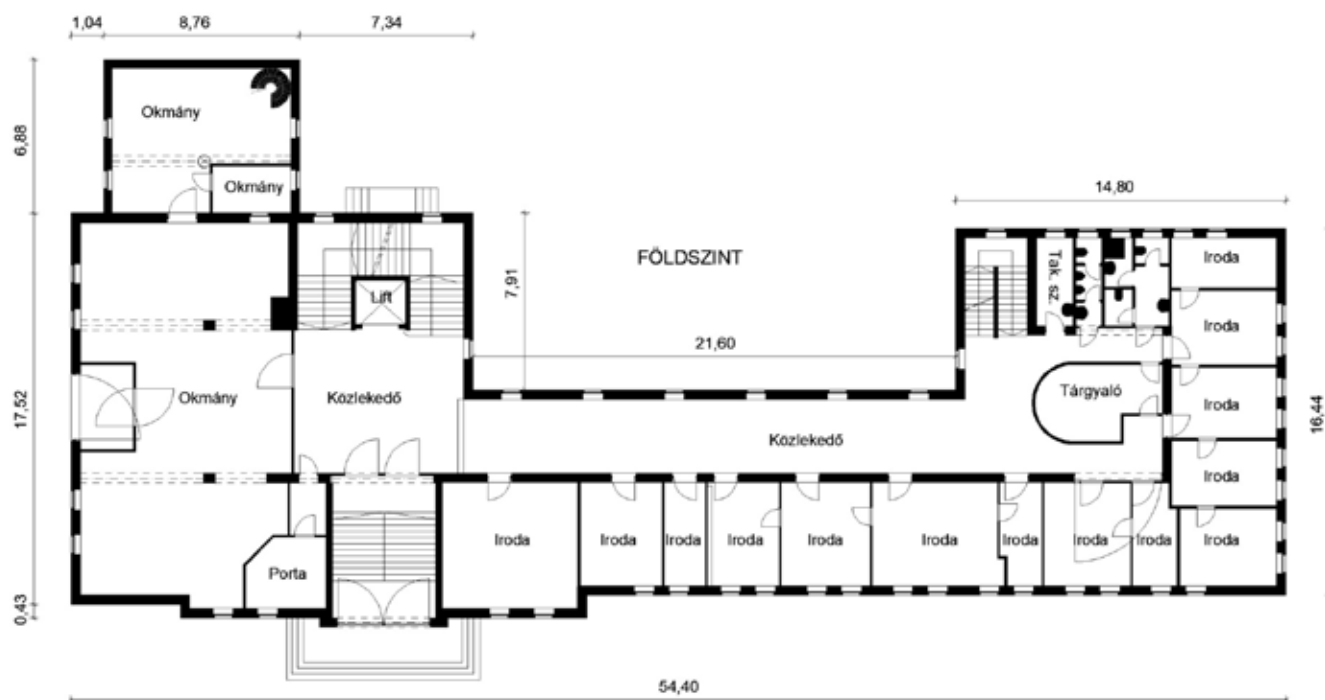
funkciót is ellát a VRV rendszer melegebb fűtési időszakokban (tavasszal, ősszel). A gázkazán és a VRV rendszer üzemelése bivalens alternatív, hidegebb időben csak a gázkazán, átmeneti időben csak a VRV rendszer látja el a fűtési feladatot. Az elektromos fogyasztás egy részét a 43,2 kWp teljesítményű napelemez rendszer fedezi.

Modell validáció

A kiindulási, valós épülethasználatot tükröző modellt (*Audit modell*) a rendelkezésre álló mért adatokkal validáltuk: három év (2014, 2015, 2016) gázfogyasztásának átlagával és egy év (2017 októberétől kezdve) villamosenergia-felhasználásával. Mivel a gázfogyasztási adatok a fűtéshez és használati melegvíz készítéshez elfogyasztott gázt is tartalmazták, becslés útján meghatároztuk a két típusú gázfogyasztást (azzal a feltételezéssel élve, hogy nyáron a teljes elfogyasztott gázmennyiség a használati melegvíz készítésre fordítódott).

A fogyasztásmérőkön kívül belső hőmérséklet- és relatív páratartalom-mérőket is elhelyeztek az épületben, amelyek óránként szolgáltatják a mért adatot. Az említett egy éves időszakra (2017. október – 2018. szeptember) vonatkozó mért hőmérséklet adatok alapján a téli időszakra vett átlagos belső hőmérséklet 24 °C-nak adódott, továbbá hétköznap éjszaka és hétvégén sem figyelhető meg jelentős fűtőcsökkentés, 20 °C feletti értékek az éjszakai és hétvégi mért órás hőmérsékletek.

A mérési időszak időjárása és a szimuláció által figyelembe vett időjárás közötti eltérés pontatlansághoz vezethet a szimulációs eredmények mérési adatokkal történő validációja során. Ennek kiküszöbölése végett a mért, fűtésre fordított gázfogyasztási adatokat korrigáltuk a két eltérő időszak (mérés és szimuláció) hőfokhíd értékeivel.



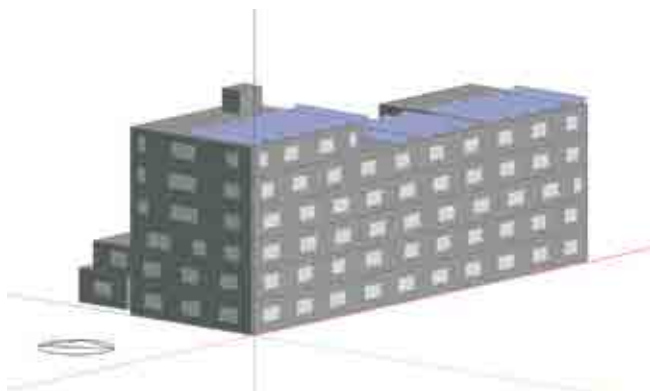
2. ábra. A földszint alaprajza

Az elkészített modellek ismertetése

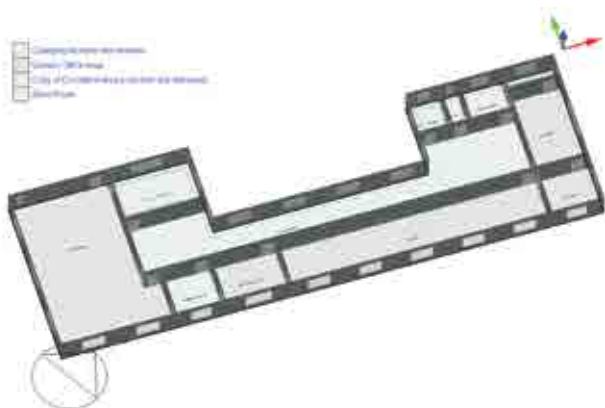
Az épület elhelyezkedéséhez az épülethez legközelebbi sablont választottuk ki a DesignBuilder sablonok közül (Budapest/Pestszentlőrinc). A téli méretezési hőmérséklet Budapesten $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$. Mivel az épület környékére jellemző időjárás adatok nem álltak rendelkezésre, így a 2007 és 2016 közötti időszakra vonatkozó TMY (Typical Meteorological Year) adatsort választottuk a szimuláció időjárásának, amelynek adatai a pestszentlőrinci meteorológiai állomásról származnak [11].

Az épület tényleges geometriájához képest a modelleket egyszerűsített geometriával készítettük el, elhanyagoltuk az utca enyhe lejtését, illetve az utcai homlokzat kiugró részét, az ablakokat pedig 20%-os ablak-fal aránnyal automatikusan helyeztük el (**3. ábra**). A geometria egyszerűsítésnek szimulációs eredményekre gyakorolt hatása nem jelentős (5% alatti) [12].

Az egyes szintek zónákra történő osztása funkció szerint történt, azaz az egymás melletti irodákat egy zónaként kezeltük, viszont figyelembe vettük a különböző tájolású tereket a zónafelosztás során (**4. ábra**). A zónák számának csökkentésével gyorsítható a szimulációs idő, és az eredményekre alig van hatással az azonos funkciójú terek összevonása [13, 14]. Az épületszerkezetek rétegrendjei az épületre elkészített tanúsításhoz igazodnak.



3. ábra. Az épület DesignBuilder modellje



4. ábra. Az első emelet zónákra osztása

Az Audit modellben felvett irodai felhasználói paramétereket az **1. táblázat** tartalmazza. Az épületben dolgozó emberek számát (200) az irodák alapterületével (2275 m^2) elosztva adódott az irodákban felvett érték, jelenlét menetrendnek pedig a DesignBuilder alapértelmezett irodai sablonját választottuk.

1. táblázat. Irodákban beállított felhasználói értékek az Audit modellben

Az irodák adatai	Audit modell
Emberek száma [fő/m ²]	0,088
Jelenlét sablon	DesignBuilder irodai menetrend
Fűtési hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]	24
Csökkentett fűtési hőm. [$^{\circ}\text{C}$]	22
Hűtési hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]	26
Csökkentett hűtési hőm. [$^{\circ}\text{C}$]	28
Frisslevegő [l/s, fő]	21,85
HMV fogyasztás [l/m ² , nap]	1,2
Számítógépek és egyéb berendezések [W/m ²]	18
Világítás [W/m ²]	13

Az épületre rendelkezésre állt a mért adatok alapján elkészített irodai menetrend (a hét napjaira külön profillal) [15], azonban a korábbi eredmények alapján a mért adatokhoz illesztett menetrendhez képest a DesignBuilder alapértelmezett menetrendje nem befolyásolja számottevően az eredményeket erre az épületre nézve (kb. 1%-os eltérést okozott a szimulációs eredményekben) [12].

A fűtési és hűtési hőmérsékleteket a mért hőmérséklet adatok alapján határoztuk meg. A valós szellőztetésről nem álltak rendelkezésre információk, így a 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet 2020-ban elkészített felülvizsgálati javaslatában (továbbiakban TNM felülvizsgálat) található, nagy irodára vonatkozó értékhez (20.1 táblázat [16]) képest 15%-kal nagyobb értéket feltételeztünk a szabályozatlan ablaknyitásokból adódóan. A HMV fogyasztást a mért gázfogyasztásból számítottuk ki.

Az irodai berendezések teljesítményének pontos meghatározásához felmértük az épületben lévő egyes berendezések számát, és szakirodalmak segítségével [9, 10], illetve a mért fogyasztási adatokhoz illesztve határoztuk meg ezek teljesítményét. A mért villamosenergia fogyasztást vizsgálva az irodai berendezések fogyasztása éjszaka is magas, a nappali érték kb. 45%-a, így a berendezések menetrendjében csökkentett üzemnek ezt az értéket adtuk meg. Mivel a világítás energiafelhasználását az épületben külön mérik, a világítás teljesítményét a TNM rendelet felülvizsgálatának 20.1 táblázata [16] alapján vettük fel.

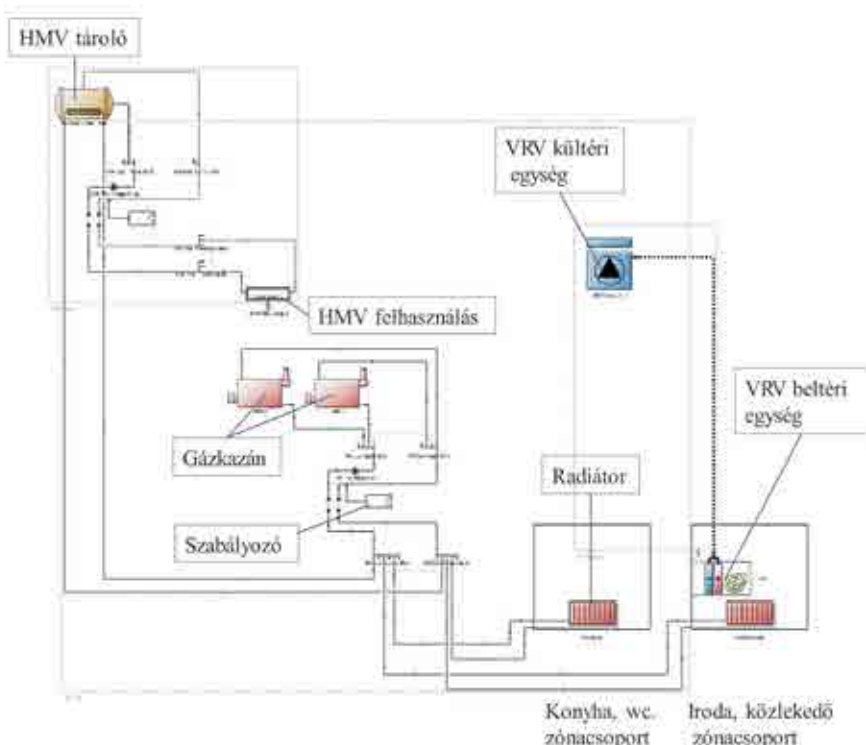
Részletes gépészeti modellezést választva az **5. ábra** mutatja be az épületgépészeti rendszer kapcsolását. A kazán és a VRV rendszer bivalens alternatív üzemét menetrendek segítségével állítottuk be.

Mivel a kazán a HMV készítésből adódóan egész évben üzemel, így annak üzemelési menetrendjén (On 24/7 – az év teljes időszakában elérhető üzemelés) nem változtattunk. A fűtést a radiátorokon keresztül korlátoztuk: januártól március 31-ig üzemelnek a radiátorok, majd október 15-e után megint, az év végéig. A VRV rendszer üzemelése pedig a

köztes időszakra tehető, azaz április 1. és október 15-e között üzemel csak, ekkor fűtésre és hűtésre is alkalmas a külső hőmérséklet függvényében.

Bár a mért adatok rámutattak arra, hogy a kazán hőszivattyú üzeme nem teljesen bivalens alternatív, télen is van teljesítményfelvétele a VRV rendszernek, viszont a szimulációs szoftver nem ad lehetőséget a két hőtermelő bivalens párhuzamos üzemének modellezésére.

5. ábra. Az épületgépészeti rendszer kapcsolása



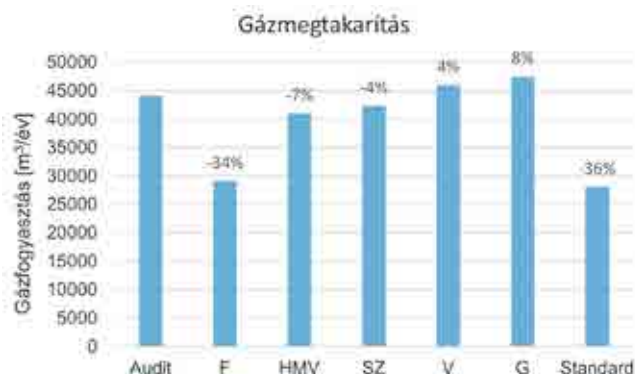
A vizsgált energiamegtakarítási beavatkozások:

- A fűtési hőmérséklet csökkentése (F): 20 °C-os fűtési hőmérséklet az irodákban, éjszakai és hétvégi fűtőcsökkentés;
- Takarékosabb HMV fogyasztás (HMV): a TNM felülvizsgálat 20.2 táblázatában [16] található 0,4 kWh/fő/nap HMV igény alkalmazása (átszámítva 0,58 l/m²/nap);
- Kisebb mértékű szellőztetés (SZ): a TNM felülvizsgálat 20.1 táblázatában [16] található 6 m³/(m²h)-s szellőzés (átszámítva 19 l/s/fő);
- Szabályozott világítás (V): az irodákban 3 lépcsős, szakaszos világítás szabályozás alkalmazása;
- A gépek éjszakai üzemének csökkentése (G): az irodai berendezések csökkentett üzemének 15%-os érték beállítása.

A beavatkozásokhoz egy-egy modell tartozik (az egyes megnevezések utáni betűjelek a modellek elnevezéseire utalnak), azaz minden beavatkozás energiafogyasztásra gyakorolt hatását külön vizsgáltuk, illetve az összes javasolt beavatkozás együttes alkalmazásával becslést adtunk egy standard épülethasználattal elérhető energiamegtakarításra (Standard modell).

Szimulációs eredmények

A szimulációs eredmények és mért adatok alapján az Audit modell ~5%-os relatív hibával közelítette az épület tényleges éves gáz- és villamosenergia felhasználását, illetve a havi lefutások is hasonló trendet mutattak. Az egyes beavatkozásokkal elérhető megtakarítások becsléséhez külön néztük az épület teljes gáz- és villamosenergia felhasználását, és a kettőt primerenergiaként összegezve, a primerenergia felhasználását, melyeket a következő ábrák mutatnak be. A %-os értékek minden esetben az Audit modellhez képest jelentkező relatív eltérést jelentik. A primerenergiára történő átszámításkor a TNM felülvizsgálat 15.1 táblázata [16] alapján 1,1-es súlyozótényező értéket vettünk fel a gáz energiahordozóhoz és 2,5-öt a villamos energiához, valamint a gáz esetén még egy 0,9-es szorzóval korrigáltunk az fűtőérték-égéshő átváltás miatt.

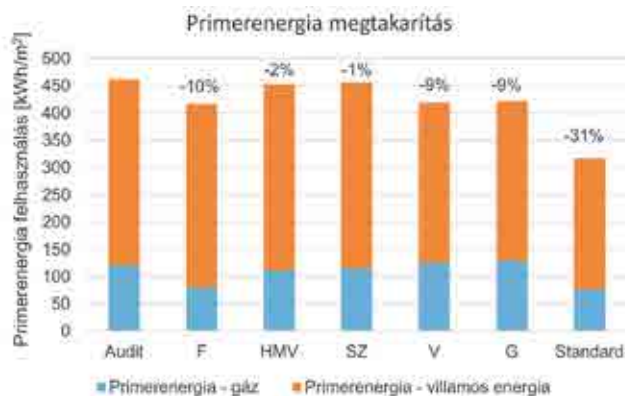


6. ábra. A vizsgált beavatkozások gázfogyasztásra gyakorolt hatása



7. ábra. A vizsgált beavatkozások villamosenergia-fogyasztásra gyakorolt hatása

A Standard modell eredményei alapján, az összes javasolt beavatkozás együttes alkalmazásával 36%-kal csökkenthető az épület gázfogyasztása és 30%-kal a villamosenergia felhasználása.



8. ábra. A vizsgált beavatkozások primerenergia felhasználásra gyakorolt hatása

A beavatkozásokat egyesével nézve, a fűtőcsökkentés hordozza magában a legnagyobb energiamegtakarítási potenciált a gázfogyasztásra és primerenergia felhasználásra nézve. Fontos azonban megjegyezni, hogy a szabványokhoz igazodva a fűtőcsökkentési modellben 20 °C-os belső léghőmérsékletet állítottunk be, ami elégedetlenséget válthat ki a 24 °C-hoz szokott irodai dolgozók körében, így a tényleges megvalósítás az emberek hozzáállásának előzetes felmérését igényelné, esetleg kérdőíveken keresztül.

Villamos energia tekintetében a legnagyobb megtakarítás a szabályozott világítással és csökkentett éjszakai üzemű gépekkel érhető el, ezek azonban a lecsökkentett belső hőnyereség miatt nagyobb gázfogyasztást idéznek elő, viszont a primerenergiát vizsgálva még a megnövekedett gázfogyasztás ellenére is csökken az energiafelhasználás. A TNM felülvizsgálatban található HMV igény és szellőzési érték alkalmazásával 7%-kal és 4%-kal csökkenthető a gázfogyasztás, ezek azonban a villamosenergia fogyasztást nem befolyásolják.

Összefoglalás

A tanulmány során egy budapesti önkormányzati épület energiafogyasztását vizsgáltuk dinamikus szimulációs szoftver (DesignBuilder) segítségével. Első lépésben elkészítettük az épület aktuális állapotát, üzemeltetését tükröző modellt (Audit modell), amelyet a mért (gáz és villamosenergia) fogyasztási adatokkal validáltuk. Az éves gázfogyasztást 5%-os, a villamosenergia felhasználást pedig 4%-os hibával közelíti a modell, amely lehetőséget ad az épület energiafogyasztásának becslésére különböző beavatkozások után. Az épület jelenlegi üzemeltetését figyelembe véve, számos területen lehetne csökkenteni az energiafelhasználását, így vizsgáltuk, hogy bizonyos felhasználói magatartással, épületüzemeltetéssel összefüggő beavatkozásokkal milyen mértékű energiafelhasználást lehetne elérni. Minden vizsgált beavatkozáshoz külön modellt készítettünk, illetve elkészítettük az összes általunk megadott javaslatot tartalmazó modellt (Standard), amelyhez a TNM felülvizsgálatban található irodai tervezési paramétereket vettük alapul.

Energiamegtakarítási beavatkozásként vizsgáltuk a fűtési hőmérséklet csökkentését, a takarékosabb HMV fogyasztást, energiatudatosabb szellőztetést, szabályozott világítást

és az irodai berendezések éjszakai készenléti fogyasztásának csökkentését. A gázfogyasztást legnagyobb mértékben az alacsonyabb fűtési hőmérséklet (20 °C) csökkentette: az Audit modellhez képest 34%-kal (24 °C-os belső hőmérséklet), a villamosenergia felhasználás esetén pedig a szabályozott világítás és a csökkentett éjszakai üzemű gépek jelentették a legnagyobb megtakarítási potenciált (14%-os csökkenés az Audit modellhez képest).

Köszönetnyilvánítás

„AZ INNOVÁCIÓS ÉS TECHNOLÓGIAI MINISZTERIUM ÚNKP-20-2 KÓDSZÁMÚ ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG PROGRAMJÁNAK A NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS ALAPBÓL FINANSZÍROZOTT SZAKMAI TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.”



Az „Energiafogyasztási és felhasználói profilok létrehozása jellegzetes épülettípusokra nagyméretű okos mérőkre épülő adatbázis alapján” elnevezésű, K 128199 számú projekt a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a K_18 pályázati program finanszírozásában valósul meg.

A jelen publikációban megjelenő kutatások az ITM NKFIA által nyújtott TKP2020 IKA támogatásból, az NKFIH által kibocsátott támogatói okirat alapján valósultak meg (projekt azonosító: TKP2020 BME-IKA- MISC).

Irodalomjegyzék

- [1] New rules for greener and smarter buildings will increase quality of life for all Europeans | European Commission, (n.d.). https://ec.europa.eu/info/news/new-rules-greener-and-smarter-buildings-will-increase-quality-life-all-europeans-2019-apr-15_en (accessed October 22, 2019).
- [2] Z. Belafi, T. Hong, A. Reith, Smart building management vs. intuitive human control—Lessons learnt from an office building in Hungary, Building Simulation. 10 (2017) 811–828. <https://doi.org/10.1007/s12273-017-0361-4>.
- [3] V. Martinaitis, E.K. Zavadskas, V. Motuziene, T. Vilutiene, Importance of occupancy information when simulating energy demand of energy efficient house: A case study, Energy and Buildings. 101 (2015) 64–75. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.04.031>.
- [4] T. Hong, S.C. Taylor-Lange, S. D'Oca, D. Yan, S.P. Corngati, Advances in research and applications of energy-related occupant behavior in buildings, Energy and Buildings. 116 (2016) 694–702. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.052>.
- [5] T. Csoknyai, J. Legardeur, A.A. Akle, M. Horváth, Analysis of energy consumption profiles in residential buildings and impact assessment of a serious game on occupants' behavior, Energy and Buildings. 196 (2019) 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.05.009>.
- [6] C. Yu, J. Du, W. Pan, Improving accuracy in building energy simulation via evaluating occupant behaviors: A case study in Hong Kong, Energy and Buildings. (2019). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109373>.

[7] F. Yousefi, Y. Gholipour, W. Yan, A study of the impact of occupant behaviors on energy performance of building envelopes using occupants' data, *Energy and Buildings*. (2017). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.085>.

[8] C. Deb, S.E. Lee, M. Santamouris, Using artificial neural networks to assess HVAC related energy saving in retrofitted office buildings, *Solar Energy*. 163 (2018) 32–44.

<https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.01.075>.

[9] A.C. Menezes, A. Cripps, R.A. Buswell, J. Wright, D. Bouchlaghem, Estimating the energy consumption and power demand of small power equipment in office buildings, *Energy and Buildings*. 75 (2014) 199–209. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.02.011>.

[10] G. Dunn, I. Knight, Small power equipment loads in UK office environments, *Energy and Buildings*. 37 (2005) 87–91.

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.05.007>.

[11] Typical Meteorological Year (TMY) | E3P, (n.d.).

<https://e3p.jrc.ec.europa.eu/articles/typical-meteorological-year-tmy> (accessed October 18, 2019).

[12] H. Kovács, M. Horváth, Bemenő paraméterek részletezettségének hatása az épületenergetikai szimulációk eredményére - TDK dolgozat, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2019.

[13] M. Georgescu, I. Mezić, Building energy modeling: A systematic approach to zoning and model reduction using Koopman Mode Analysis, *Energy and Buildings*. 86 (2015) 794–802.

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.046>.

[14] DesignBuilder Help - Merging Zones, (n.d.). https://designbuilder.co.uk/helpv6.0/#Merge_Zones_Dialog.htm?Highlight=zones (accessed March 27, 2020).

[15] Á. Tóth, Épületüzemeltetési szokások értékelése okos mérőrendszerrel gyűjtött adatok alapján (BME, GPK, Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék, Szakdolgozat), 2018.

[16] T. Csoknyai, Z. Szalay, A. Zöld, M. Horváth, B. Nagy, N. Balázs, E. Barna, A.-T. Balázs, R. Goda, Z. Szánthó, Az épületek energetikai jellemzői meghatározásának módszertana, (2020).



„A virtuális tér nyújtotta lehetőségekkel a jövőben is élhetünk”

Történetében először szervezték meg online a Műegyetemi Épületgépész Napokat, ugyanakkor az előző évekhez képest is számottevő sikerrel.

„Rendezvényünk egyfajta kihívásnak is tekinthető, hiszen a virtuális tér, illetve a digitális technológiák olyan lehetőségeket nyitnak meg előttünk, amelyeket a jövőben is hasznosíthatunk” – hangsúlyozta a házigazda nevében dr. Csoknyai Tamás, a BME Gépészmérnöki Kar Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék tanszékvezető egyetemi docense, miután megnyitotta a 26. Műegyetemi Épületgépész Napokat. Ebben az évben a szakmai továbbképzés és kiállítás mottója „Biztonság és hatékonyság” volt. Előbbiről az első, utóbbiról a második napon hallhattak előadásokat az érdeklődők.

Forrás: bme.hu

Következő cikkünkben dr. Csoknyai Tamás a szakmai továbbképzés keretében tartott előadásának legfontosabb gondolatait foglalja össze.



Belépés a virtuális kiállításra



A virtuális kiállítótér