

ENERGIAHATÉKONYSÁG IGAZOLÁSA LAKÓÉPÜLET FŰTÉSI RENDSZER SZABÁLYOZÁSI MÓDJÁNAK A FÜGGVÉNYÉBEN, MATLAB SIMULINK KÖRNYEZETBEN MODELLEZVE

VERIFICATION OF ENERGY EFFICIENCY AS A FUNCTION OF THE CONTROL MODE OF A RESIDENTIAL HEATING SYSTEM, MODELLED IN A MATLAB SIMULINK ENVIRONMENT

PÁGER SZABOLCS – GÉCZI GÁBOR – FÖLDI LÁSZLÓ
szabolcs.pager@gmail.com

Összefoglalás

A lakóépületek fűtési rendszerének hatékony szabályozása kiemelkedő jelentőséggel bír az energiahatékonyság a kényelem és a károsanyag kibocsátás szempontjából. A matematikai modellezés és szimuláció használata lehetővé teszi különböző fűtésszabályozási módok vizsgálatát és optimalizálását. A tanulmány során matematikai modelleket fejlesztettünk ki a lakóépületek fűtési rendszerének különböző szabályozási módjainak leírására. A leggyakrabban alkalmazott szabályozások az állandó alapjelű-, a változó alapjelű-, valamint az időjáráskövető és a PID szabályozások. Ezek közül az állandó alapjelű On/Off termosztátos szabályozást és a változó alapjelű (normál és csökkentett hőmérséklet időprogram szerint) hasonlítottuk össze.

A modellek alapján elemeztük ennek a két különböző szabályozási módnak hatékonyságát és energiamegtakarítási potenciálját. A szimulációkat meteorológiai mérési adatok alapján végeztük el. Az eredmények azt mutatták, hogy a változó alapjel szerinti szabályozás 8,4% energiamegtakarítást eredményezhet, minimális vagy teljesen elhanyagolható komfortcsökkenés mellett, biztosítva ezáltal az alacsonyabb károsanyag kibocsátást.

Megállapítható, hogy a matematikai modellezés és szimuláció segítségével lehetőség nyílik a lakóépületek fűtési rendszerének szabályozási módjainak részletes vizsgálatára, valamint összehasonlítására. Az eredmények alapján a tervezők és mérnökök hatékonyabb, környezettudatosabb és fenntarthatóbb fűtési megoldásokat fejleszthetnek ki lakóépületekhez.

Kulcsszavak: szimuláció, fűtésszabályozás, energia megtakarítás, optimalizálás

JEL kód: C60, Q40, O33

Abstract

Efficient control of the heating system in residential buildings is of outstanding importance for energy efficiency, comfort, and emissions reduction. The use of mathematical modelling and simulation allows for the investigation and optimization of various heating control modes. During the study, we developed mathematical models to describe different control modes of the heating system in residential buildings. The most commonly used modes were constant setpoint control, variable setpoint control, weather-compensation control, and PID control. Among these, we compared the constant setpoint On/Off thermostat control with the variable setpoint control based on normal and reduced temperature time programs.

Based on the models, we analysed the effectiveness and energy-saving potential of these two different control modes. The simulations were conducted using meteorological measurement data. The results showed that the variable setpoint control leads to 8,4% energy saving with minimal or negligible decrease in comfort, thus ensuring lower emissions.

It can be concluded that through mathematical modelling and simulation, it is possible to conduct detailed examinations and comparisons of the heating system control modes in residential buildings. Based on the findings, designers and engineers can develop more efficient and sustainable heating solutions for residential buildings.

Keywords: *simulation, heat control, energy saving, optimization*

Bevezetés

Az energiafogyasztás és az ahhoz kapcsolódó környezeti hatások egyre növekvő problémát jelentenek világszerte. A fenntarthatóság és az energiamegtakarítás iránti igény egyre inkább hangsúlyossá válik az épületek tervezésében és üzemeltetésében. Különös figyelmet kell fordítanunk a lakóépületekre, hiszen ez a szektor a globális energiatermelés és a károsanyag-kibocsátás jelentős részét teszi ki (IEA 2018).

A fűtési rendszerek kiemelt szerepet játszanak a lakóépületek energiafogyasztásában, különösen hideg éghajlati területeken és a Közép-Európára jellemző négyévszakos térségekben. A hagyományos fűtési módszerek, mint például az olaj- vagy gáztüzelésű rendszerek, jelentős mennyiségű energiát használnak fel, amely nem csak nagy mértékű költségeket jelent a tulajdonosoknak, hanem számos környezeti problémát is okoznak, beleértve a szén-dioxid-kibocsátást és a levegőszennyezést. MOON et al. (2014) modell alapú előrejelzéssel vizsgálták a CO₂ kibocsátást lakóépületek esetében. Megállapították, hogy a tervezés során érhető el a legnagyobb hatás az épületek várható CO₂ kibocsátásának csökkentésében.

Az energiahatékonysági intézkedések és technológiák alkalmazása lehetővé teszi a hőveszteség minimalizálását és a fűtési energia hatékony felhasználását. Az épületek jelentős része gyakran nem felel meg a modern energetikai szabványoknak, és a meglévő épületek energiahatékonyságának javítása kiemelt fontossággal bír a fenntarthatóság és az energiahatékonyság felé. Az épületek korszerűsítése és energetikai lehetőségei magukban foglalják az energiahatékonyságot növelő intézkedéseket és technológiákat. Az egyik leggyakoribb módszer az épületek hőszigetelése, értelemszerűen hatékonyan csökkenti a hőveszteséget és minimalizálja a hőhidakat, ezáltal csökkentve a fűtési és hűtési energiaigényt. A szigetelés különböző formái alkalmazhatók, beleértve a tetőszigetelést, a homlokzati hőszigetelést és az ablakok energiahatékony beépítését. A megfelelő szigetelés jelentősen hozzájárul az épület energiahatékonyságához és kényelméhez (AKAN et al. 2022).

Az energiamegtakarítás másik fontos területe az épület fűtési és hűtési rendszerének korszerűsítése. PALANETTO et al. (2020) a lakóépületek korszerűsítésének környezeti és gazdasági előnyeit vizsgálta modellezéssel. A régi, nagyenergiafelhasználó és alavult rendszerek cseréje energiatakarékos megoldásokkal, például hatékonyabb kazánokkal, hőszivattyúkkal vagy távfűtési rendszerekkel jelentős megtakarítást eredményezhet. Az energiamegtakarítás érdekében a fűtési és hűtési rendszerek hatékony szabályozása is egy lehetőség. FELIMBAN et al. (2023) a megtakarítási potenciált elemezték energetikai korszerűsítések és mérések alapján. Az okos termosztátok, az automatikus zónaszabályozás és az időjárásfüggő szabályozás lehetőséget nyújtanak a fűtés és hűtés optimalizálására, minimalizálva az energiafelhasználást.

Napenergia hasznosítása is fontos szerepet játszik az épületek energetikai korszerűsítésében. A napelemek telepítése az épület tetőszerkezetére lehetővé teszi a napenergia átalakítását elektromos energiává, amelyet az épület energiaellátására lehet felhasználni. A napenergia hasznosítása csökkenti az épület hálózati energiaigényét, és az üzemeltetésben hosszú távon megtakarítást eredményez (GHABOUR et al. 2021, GHABOUR – KORZENSZKY 2020, 2021, 2022, 2023, HERMANUCZ et al. 2022, KHAIRI et al. 2017).

Az épületek energiamegtakarítását és fenntarthatóságát elősegíthetik továbbá az energiatakarékos világítási rendszerek, az energiatakarékos háztartási készülékek, a víz- és energiatakarékos csaptelepek, valamint a megújuló energiaforrásokra épülő fűtési és hűtési rendszerek. Az épület automatizálása és a gyengeáramú rendszerek alkalmazása, például az épületenergetikai szabályozás és a szenzorok használata további lehetőségeket kínál az energiatahékonyság javítására. Az épületek energiatahékonyságának növelése nemcsak gazdasági előnyöket jelent az épület tulajdonosai számára, hanem jelentős mértékben hozzájárul a környezetvédelemhez és a klímaváltozás elleni küzdelemhez. Az épületek energetikai korszerűsítése kulcsfontosságú lépés az energiatakarékos és fenntartható építészet felé, amely hosszú távon pozitív hatással van a társadalomra és a környezetre.

A meglévő lakóépület esetében a fűtési rendszerének hatékony szabályozása kulcsfontosságú tényező az energiamegtakarítás és a komfort szempontjából is. A megfelelő szabályozás lehetővé teszi a fűtési rendszer optimális működését, ami nemcsak a tulajdonosok számára hoz megtakarítást, hanem csökkenti az energiaveszteséget és a környezeti terhelést is.

Az egyik leggyakoribb módszer a fűtési rendszer szabályozására az változó alapjelű szabályozás. Ez azt jelenti, hogy a fűtési rendszer automatikusan be- és kikapcsol egy előre beállított ütemterv alapján. Az időzítés lehetővé teszi, hogy a fűtés csak akkor legyen aktív, amikor szükség van rá, például reggelente és este, amikor az emberek általában otthon vannak. Ez a módszer csökkenti az energiafelhasználást azáltal, hogy elkerüli a fűtést olyan időszakokban, amikor az nem szükséges.

A hőmérséklet-szabályozás egy másik fontos módszer a fűtési rendszerek hatékony működtetésére. A modern technológiának köszönhetően lehetőség van az egyes helyiségekben eltérő hőmérsékletek beállítására, így a fűtés csak azokban a helyiségekben történik, ahol valóban szükség van rá. Például egy otthonban a hálószobákat alacsonyabb hőmérsékletre lehet beállítani éjszaka, amikor azok nem használatban vannak, míg a nappaliban vagy a fürdőszobában magasabb hőmérsékletre lehet szükség a komfort érdekében. A helyiségek szabályozása lehet manuális vagy automatikus, például a termosztátok vagy okos otthoni rendszerek segítségével.

Az energiamegtakarítás és a hatékonyság tovább növelhető a hőmérséklet-szabályozás kombinálásával külső tényezőkkel, például időjáráskövető szabályozással. Az időjáráskövető szabályozás lehetővé teszi a fűtési rendszernek, hogy alkalmazkodjon a külső hőmérséklet változásaihoz, például csökkentve a fűtést, ha a külső hőmérséklet emelkedik. Az energiamegtakarítás tovább fokozható azzal, hogy a fűtési rendszer figyelembe veszi a napsugárzásból adódó energianyereséget, és ennek megfelelően szabályozza a hőmérsékletet és a fűtési időt. Az utóbbi időszakban már nem csak az ún. „igaz vagy hamis” logikán alapuló szabályozók terjednek az épületgépészeti rendszerek szabályozásában, hanem a több lehetséges igazságértéket alapul vevő számítástechnikai feldolgozások, az ún. Fuzzy Logic alapú szabályozók is (FUAD et al. 2023, RAHMATI et al. 2023).

Az okos otthoni technológiák és az automatizálás új lehetőségeket kínálnak a fűtési rendszer szabályozásában. Az okos termosztátok és okosotthon rendszerek lehetővé teszik a felhasználóknak a fűtés távoli szabályozását, a fűtési ütemterv programozását, valamint a hőmérséklet-szabályozást az okos eszközökön keresztül. Ezek a rendszerek gyakran neurális hálózatokon alapuló tanuló algoritmusokkal rendelkeznek, amelyek képesek az időjárási adatok, a felhasználói szokások és a helyiség jellemzői alapján optimalizálni a fűtési

beállításokat, így maximalizálva az energiahatékonyságot és a komfortot (RICHTER et al. 2022, MAWSON et al. 2021).

Összességében a lakóépületek fűtési rendszerének hatékony szabályozása elengedhetetlen az energiamegtakarítás és a fenntarthatóság szempontjából. A változó alapjelű szabályozás, a hőmérséklet-szabályozás, az időjáráskövető szabályozás és az okos otthoni rendszerek mind olyan eszközök, amelyek segítenek optimalizálni a fűtési rendszerek működését és csökkenteni az energiafelhasználást. Ahogy a korábbi kutatások esetében láthattuk jól bevált módszernek számít a szimuláció és modellezés (BALALI et al. 2023).

A matematikai modellezés és szimuláció rendkívül hasznos eszközök az épületek energetikai hatékonyságának elemzésében és optimalizálásában. (ALI 2020) konferencián számolt be a korábbi alkalmazás, a kompenzáción alapuló ún. PID szabályozások más szabályozásokkal történő összehasonlítására szimuláció segítségével. Ezek a módszerek lehetővé teszik a tervezők, kutatók és mérnökök számára, hogy virtuális környezetben vizsgálják az épület teljesítményét különböző paraméterek és feltételek mellett. A modellek segítségével különböző forgatókönyvek és paraméterek tesztelhetők, hogy megtaláljuk a legjobb megoldásokat az energiahatékonyság és komfort szempontjából, akár egyedi, modern igényeket figyelembe véve (BORODINECS et al. 2023).

A szimulációk virtuális környezetben történnek, így szabadon lehet változtatni a paramétereket és kísérletezni a különböző szabályozási stratégiákkal. Ez rugalmas környezetet biztosít az energiahatékony fűtési rendszer optimális beállításainak megtalálásához. A számítógépes modellezés lehetővé teszi a különböző időjárási és évszakos változók hatásának elemzését a fűtési rendszerre. Ez segíti megérteni, hogy hogyan befolyásolja az időjárás a fűtési rendszert, és hogyan lehet optimalizálni a fűtési szabályozást különböző körülmények között. A számítógépes modellezés és szimuláció jelentős előnyöket nyújtanak a lakóépületek fűtési rendszerének hatékony szabályozásában és optimalizálásában.

A számítógépes modellezés és szimuláció előnyei között szerepel a könnyebb értelmezhetőség, a rugalmas környezet, a változók elemzése és a gyorsított tervezési folyamat. Ezek a módszerek lehetővé teszik a különböző szabályozási módok összehasonlítását és optimalizálását a lakóépületek fűtési rendszereinek hatékony működtetése érdekében. Ezen eredmények alapján hatékonyabbá és fenntarthatóbbá tudjuk tenni a fűtési rendszereket, hozzájárulva a globális energiamegtakarításhoz és a környezeti fenntarthatósághoz.

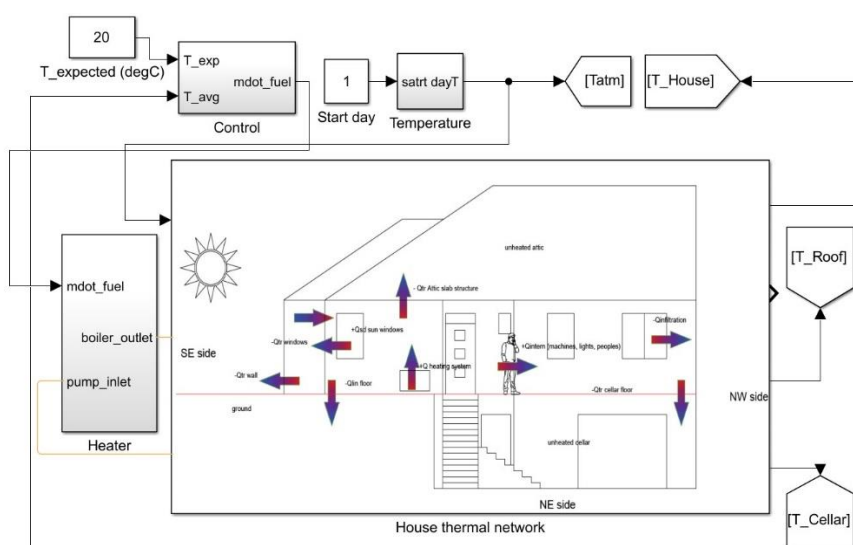
Anyag és módszer

A MATLAB SIMULINK környezetben elvégzett modellezést egy létező, 106 m² alapterületű, Porotherm 44 téglapépítésű, BB energiahatékonyságú, gödöllői kétlakásos társasház egyik felére végeztük el (1. ábra).



1. ábra: Kétlakásos társasház baloldali egysége a szimulált lakóépület
Figure 1. Left unit of two-apartment building as the simulated residential house

Korábbi tanulmányunkban validáltuk az említett épület matematikai függvényeket alkalmazó matlab alapú energetikai modelljét (PÁGER et al. 2022). Ebben a kutatási sorozatban a 2. sz. ábrán látható modellt kiegészítettük a szabályozási módok összehasonlítására alkalmas matlab simulink elemekkel. Az összehasonlításhoz választott szabályozási módok az állandó és az időprogram szerint változó alapjelű fűtés. A változó alapjel időprogramjának egy átlagos család használati szokásához illeszkedő idő és hőmérséklet programot választottunk. Azért erre a szabályozási módra esett a választásunk, mert a kiépített fűtési rendszer jelenlegi használati módja az állandó alapjelű fűtés, viszont a szobatermosztát alkalmas az időprogram szerint változó alapjelű fűtésre is. Célunk az volt, hogy kiszámítsuk éves időtávlatban a változó alapjel esetén elérhető (még a komfortszint csökkenése nélkül) energetikai megtakarítást. A szimulációkat az 1. sz. táblázatban szereplő folyamatos alapjel és négy különböző hőmérsékletű változó alapjel mellett végeztük el, 2021 év meteorológiai jellemzőit – elsősorban külső hőmérséklet és a napsugárzásból származó hőnyereségek – figyelembe véve.

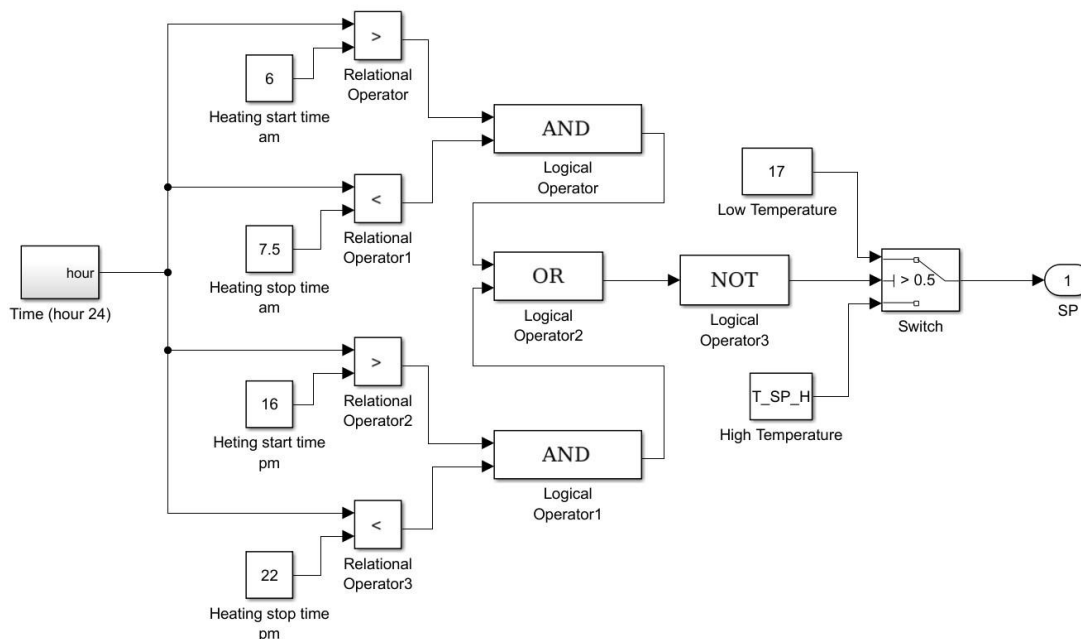


2. ábra MATLAB alapú energetikai model/ Figure 1. Energetics model based on
MATLAB Forrás/Source: (PÁGER et al. 2022)

1. táblázat: Időprogram és hőmérséklet alapjel értékek
Table 1. Time program and temperature setpoints

Időprogram (Time program)	Állandó hőmérsékleti alapjel [°C] 1. szimuláció (Constant temperature setpoint 1. simulation)	Változó hőmérsékleti alapjelek [°C] (Variable temperature setpoints)			
		2. szimuláció (simulation)	3. szimuláció (simulation)	4. szimuláció (simulation)	5. szimuláció (simulation)
0:00-6:00		20	19	18	17
6:00-7:30		21	21	21	21
7:30-16:00	21	20	19	18	17
16:00-22:00		21	21	21	21
22:00-0:00		20	19	18	17

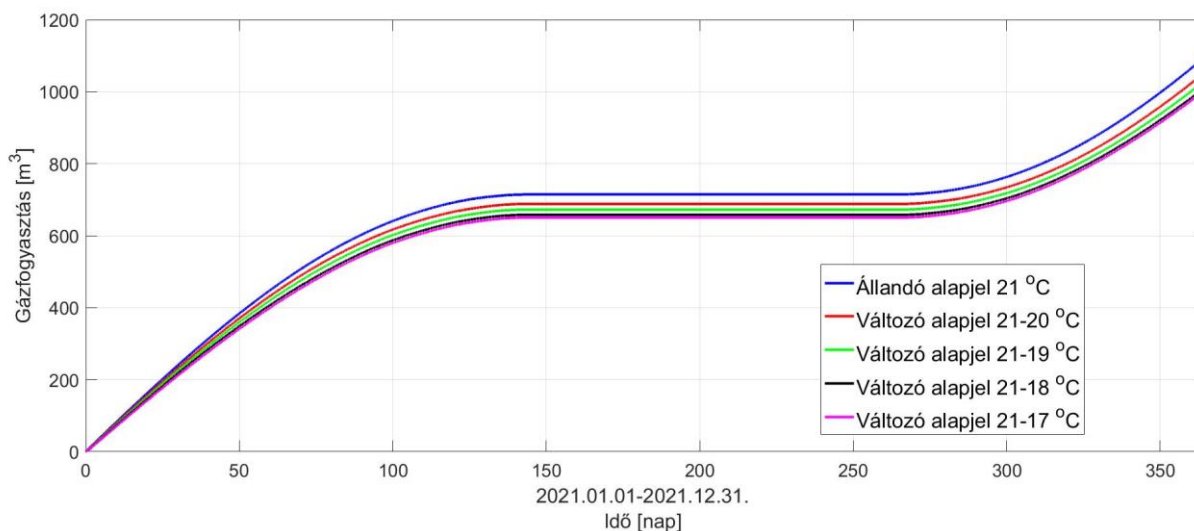
A szimulációra is alkalmas modell kialakítása során kiegészítettük a meglévő MATLAB energetikai modellt a fűtési-rendszer változó alapjel szerinti szabályozásával. White-box elvet követtük, így minden folyamat matematikai összefüggésekkel szerepel benne. A szimulációkban alkalmazott sémát a 3. ábrán mutatjuk be.



3. ábra: Változó alapjel matlab simulink sémája
Figure 3. Schematic of variable setpoint matlab simulink

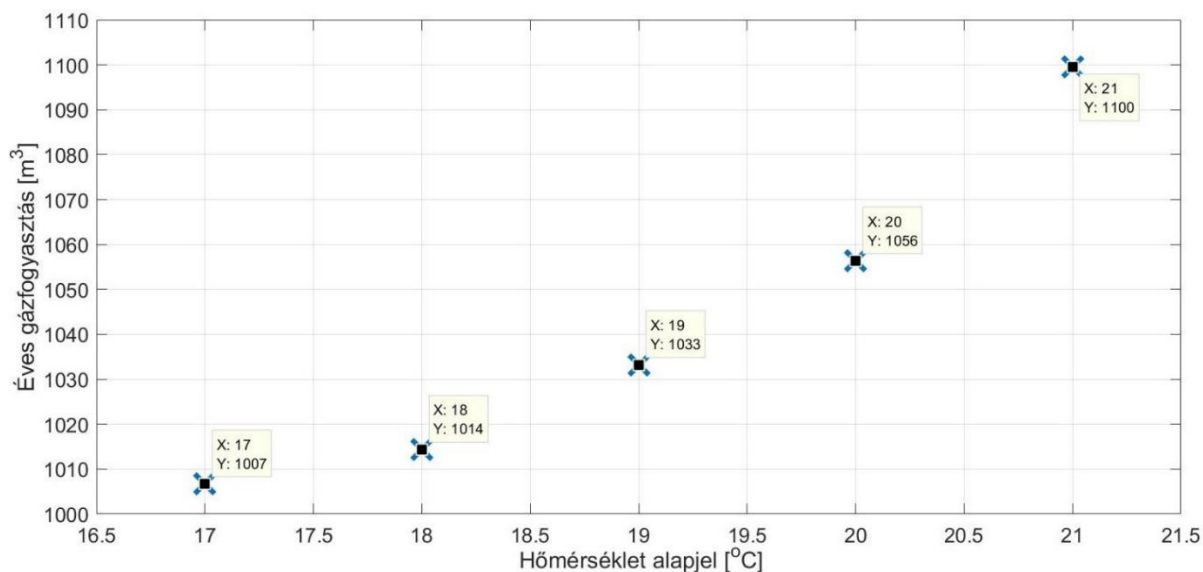
Eredmények

Kiértékeltek és grafikus módon is megjelenítettük a szimulációs eredményeinket. A 4. ábrán a gázfogyasztások láthatóak a szimulált 2021-es év időtartama alatt. A fűtési idénynek a fűtési határhőmérséklet alatti napokat vettük. A 3. ábrán jól látható vízszintes szakasz a nyári időszakot ábrázolja, amely időszak fűtést nem igényelt.



4. ábra: Éves gázfogyasztás kumulatív alakulása különböző szabályozási alapjelekkel
Figure 4. Cumulative evolution of annual gas consumption with different regulatory setpoints

Az éves gázfogyasztási adatok összesítését az 5. ábra tartalmazza, feltüntetve az állandó alapjellel történő szabályozással és a változó alapjellel történő szimulációs eredményeket is. Az éves gázfogyasztási adatok, és az ezekkel elérhető százalékos megtakarítások mértéke az állandó alapjelű szabályozáshoz képest a 2. számú táblázatban szerepelnek.



5. ábra: Az összesített éves gázfogyasztás alakulása különböző szabályozási alapjelekkel
Figure 5. Development of the aggregated annual gas consumption with different control reference points

2. Táblázat: Éves gázfogyasztások /Table 2. Annual gas consumption

Eredmények (Results)	1. szimuláció (simulation)	2. szimuláció (simulation)	3. szimuláció (simulation)	4. szimuláció (simulation)	5. szimuláció (simulation)
Éves gázfogyasztás [m ³] (Annual gas consumption)	1100	1056	1033	1014	1007

Megtakarítás az állandó alapjelhez képest [%] (Savings compared to continuous set point [%])	0	4	6,1	7,8	8,4
---	---	---	-----	-----	-----

Következtetések

A kialakított és korábban validált matematikai alapú matlab simulink modellünk már alkalmas a különböző szabályozási módokkal elérhető gázfogyasztás szimulálására, a energiamegtakarítások kimutatására. Az előzetes várakozásainknak megfelelően a változó alapjellel megtakarítás érhető el. Azonban a szimulációink alapján megfigyelhető, hogy a megtakarítás mértéke folyamatosan csökken. Ennek egyik oka lehet az épület hőtároló tömege és a változó alapjelnél alkalmazott időprogramok, és a felfűtéshez szükséges energia arányai. A hőmérséklet csökkentésével nem lineárisan csökken a megtakarítás mértéke. Ha csupán a 1°C-al csökkentjük az időprogram szerint a szimulált épület hőmérsékletét a CO₂ kibocsátás 88 kg-mal csökken. A 2. sz. táblázatban látható, hogy a komfort érzetet jelentősen nem befolyásoló, időszakosan – a lakásban nem tartózkodás időszakában – 17°C-os hőmérsékleti alapjel alkalmazása a vizsgált épületben 2021-ben, 8,4%-os energiamegtakarítást jelentett volna. Megfigyeltük azt is, hogy az épület hőtároló tömegének köszönhetően egy esetben sem hűlt le a belső hőmérséklet 17°C-ra.

Hivatkozott források

- AKAN, A.P. – AKAN, A.E. (2021): Modeling on CO₂ emissions via optimum insulation thickness of residential buildings. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 24, 949–967. <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02233-6>
- ALI, M. (2020): The PID comparison simulation with SOSMF control and efficient indoor thermal comfort control in HVAC System. *Student Conference on Research and Development/IEEE*. elérhető: <https://www.researchgate.net/publication/338386124> letöltés: 2023.07.25.
- BALALI, Y. – CHONG, A. – BUSCH, A. – O’KEEFE, S.G. (2023): Energy modelling and control of building heating and cooling systems with data-driven and hybrid models-A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 183. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113496>
- BORODINECS, A. – ZEMITIS, J. – PALCIKOVSKIS, A. – ARDAVS, A. – LAVENDELIS E. (2023): Review of modern demand control solutions and technologies for HVAC operation. *E3S Web of Conferences*, 396, 02020. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339602020>
- FELIMBAN, A. – KNAACK, U. – KONSTANTINOU, T. (2023): Evaluating Savings Potentials Using Energy Retrofitting Measures for a Residential Building in Jeddah, KSA. *Buildings*, 13(7) 1645. <https://doi.org/10.3390/buildings13071645>
- FUAD, A.A. – KHAN, S.U. – MYNUDDIN, M. (2023): Fuzzy Logic Control Method of HVAC Equipment for Optimization of Occupants’ Thermal Comfort in Apartment. *Noble International Journal of Scientific Research*, 7(1), 08–18. elérhető: www.napublisher.org letöltés: 2023.04.11.
- GHABOUR, R. – JOSIMOVIC, L. – KORZENSZKY, P. (2021): Two Analytical Methods for Optimising Solar Process Heat System Used in a Pasteurising Plant. *Applied Engineering Letters*, 6(4), 166–174. <https://doi.org/10.18485/aeletters.2021.6.4.4>

- GHABOUR, R. – KORZENSZKY, P. (2020): Mathematical modelling and experimentation of soy wax PCM solar tank using response surface method. *Analecta Technica Szegedinensia*, 14(2), 35–42. <https://doi.org/10.14232/analecta.2020.2.35-42>
- GHABOUR, R. – KORZENSZKY, P. (2021): Effect of in series and in parallel flow heater configuration of solar heat system for industrial processes. *Science, Technology and Innovation*, 14(3-4), 18–26. <https://doi.org/10.55225/sti.315>
- GHABOUR, R. – KORZENSZKY, P. (2022): Linear Model of DHW System Using Response Surface Method Approach. *Technicki Vjesnik*, 29(1), 66–72. <https://doi.org/10.17559/TV-20201128095138>
- GHABOUR, R. – KORZENSZKY, P. (2023): Dynamic Modelling and Experimental Analysis of Tankless Solar Heat Process System for Preheating Water in the Food Industry. *Acta Polytechnica Hungarica*, 20(4), 65–83. <https://doi.org/10.12700/APH.20.4.2023.4.4>
- HERMANUCZ, P. – BENÉCS, J. – BARÓTFI, I. (2022): Levegő hőforrású hőszivattyú leolvasztási ciklusának energetikai vizsgálata. *Magyar Épületgépészet*, 71(1–2), 7–12.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2018): A hat legnagyobb CO₂ kibocsátó végfelhasználás Magyarországon 2017-ben elérhető: <https://www.iea.org/> letöltés: 2023. 05.15.
- KHAIRI, M. – JAAPAR, A. – YAHYA, Z. (2017): The application, benefits and challenges of retrofitting the existing buildings. *Materials Science and Engineering* 271, 012030. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/271/1/012030>
- MOON, H. – HYUN, C. – HONG, T. (2014): Prediction Model of CO₂ Emission for Residential Buildings in South Korea. *Journal of Management in Engineering*, 30(3), 04014001 [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000228](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000228)
- MAWSON, V.J. – HUGHES, B.R. (2021): Coupling simulation with artificial neural networks for the optimisation of HVAC controls in manufacturing environments. *Optimization and Engineering*, 22, 103–119. <https://doi.org/10.1007/s11081-020-09567-y>
- PALLONETTO, F. – ROSA, M.D. – FINN, D.P. (2020): Environmental and economic benefits of building retrofit measures for the residential sector by utilising sensor data and advanced calibrated models. *Advanced in Building Energy Research*, 16(1), 89–117. <https://doi.org/10.1080/17512549.2020.1801504>
- PÁGER, S. – FÖLDI, L. – GÉCZI, G. (2022): Creation and validation of simplified mathematical model for residential building energy analysis in matlab environment. *Mechanical Engineering Letters*, 22, 26–42. elérhető: https://uni-mate.hu/documents/315606/3131614/MEL_2022_vol22.pdf
- RICHTER, P. – ABIDA, A. (2022): HVAC control in buildings using neural network. *Journal of Building Engineering*, 65, 105558. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2022.105558>

Szerzők

Páger Szabolcs

PhD. hallgató

Műszaki Tudományi Doktori Iskola, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, 2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.

szabolcs.pager@gmail.com

Dr. Géczy Gábor PhD

habilitált egyetemi docens

Környezettudományi Intézet, Környezetanalitikai és Környezettechnológiai Tanszék, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, 2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.

geczy.gabor@uni-mate.hu

Dr. Földi László PhD

tanszékvezető, egyetemi docens

Műszaki Intézet, Mechatronikai Tanszék, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, 2100

Gödöllő, Páter Károly utca 1.

foldi.laszlo@uni-mate.hu

A műre a Creative Commons 4.0 standard licenc alábbi típusa vonatkozik: [CC-BY-NC-ND-4.0.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

