

Középletek energiahatékonyságának növelése piezoelektromos járólapok segítségével

Improving the energy efficiency of public buildings by using piezoelectric floor tiles

KARDA Szilárd¹, Dr. NAGY-GYÖRGY Tamás¹, Dr. BOROS József¹

Temesvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Románia,
300223 - Temesvár, T. Lalescu u. 2, Tel/fax: +40 256 403935, e-mail: szilard.karda@student.upt.ro, tamas.nagy-
gyorgy@upt.ro, iosif.boros@student.upt.ro, www.ct.upt.ro

Abstract

The energy efficiency of buildings and the widespread use of renewable energy sources are important strategic elements in achieving the long-term climate neutrality objectives set by the European Union. This paper presents an alternative energy collection technology using floor tiles in public buildings that generate electricity due to people walking on it. In order to gain certainty about the sustainability of the energy harvesting tiles, a case study was made to determine the impact of the electricity generated on the primary energy demand of the building and the payback time of the investment.

Keywords: energy efficient buildings, energy harvesting, kinetic floor tiles, piezoelectricity, Pavegen floor tiles

Kivonat

Az épületek energiahatékonysága és a megújuló energiaforrások széles körű alkalmazása fontos stratégiai elemei az Európai Unió által kitűzött hosszú távú klímaseglegesség célkitűzéseinek eléréséhez. A dolgozat egy alternatív energiagyűjtő technológiát mutat be, olyan járólapokat alkalmazva a középületeknél, melyek villamos energiát termelnek a rajta áthaladó embereknek köszönhetően. Annak érdekében, hogy bizonyosságot nyerjen a konstrukció fenntarthatósága egy esettanulmány során meghatározásra került az előállított villamos energia hatása az épület primer energiaigényére és a befektetés megtérülési rátája.

Kulcsszavak: energiahatékony épületek, energiagyűjtés, energiatermelő járólapok, piezoelektromosság, Pavegen

1. BEVEZETŐ

Az emberi tevékenység fokozatosan befolyásolja a Föld éghajlatát azáltal, hogy hatalmas mennyiségű üvegházhatású gázt ad hozzá a légkörben természetesen előforduló gázokhoz. Az Európai Unió elkötelezett egy fenntartható, versenyképes, biztonságos és dekarbonizált energiarendszer kialakítása iránt. Ennek érdekében ambiciózus kötelezettségvállalásokat szorgalmaz az üvegházhatású gáz-kibocsátás csökkentése, a megújuló energia fogyasztásának növelése, valamint energiahatékonyság, versenyképesség és fenntarthatóság javítása érdekében [1]. A tagállamoknak és a beruházóknak az említett célok eléréséhez olyan intézkedésekre van szükségük, amelyek többek közt 2050-re hozzájárulnak az Unió épületállományának dekarbonizálásához és a végső energiafogyasztás csökkentése közötti költséghatékony egyensúly megtalálásához.

Ennek érdekében elsődleges szerepet kap az épületek energiahatékonysága, valamint a megújuló energiaforrások használatának mérlegelése. A közel nulla energiaigényű (KNE) épületek nemcsak teljesítik az energiahatékonyságra vonatkozó jelenlegi minimumkövetelményeket, hanem energiahatékonyabbak is, és ily módon csökkentik mind az energiafogyasztást, mind a szén-dioxid-kibocsátást. A KNE épületeknél felhasznált nagyon alacsony vagy közel nulla mennyiségű energiának igen jelentős részben megújuló forrásokból kell származnia, beleértve a helyszínen vagy a közelben előállított megújuló forrásokból származó energiát is [2].

Az épületeknél alkalmazott megújuló energiaforrásokat használó rendszerek általában a nap- illetve a geotermikus energiára támaszkodnak. A dolgozat egy alternatív energiaforrás bemutatására és elemzésére tesz kísérletet, amely során a kinetikus energiát felhasználva termelődik elektromos áram. A kinetikus energiát

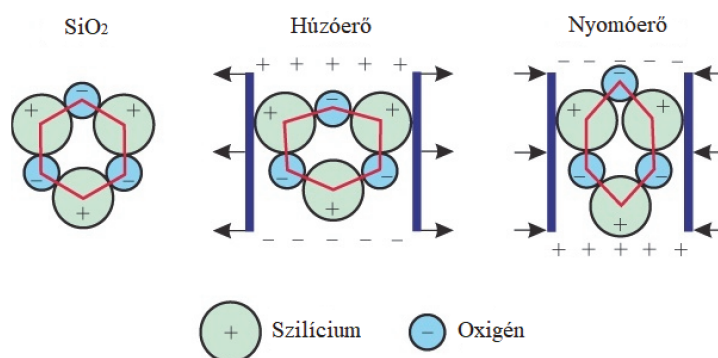
alapvetően nem szokás megemlíteni a megújuló energiaforrások között, ugyanis nem konkrét közegről, módzerről, vagy energiaforrásról van szó, hanem az energia egyik formáját, esetünkben a mozgási energiát hasznosítja. Dokumentált, hogy az emberek átlagosan 10000 lépést tesznek meg naponta [3]. A fő gondolat tehát az, hogy a lépések által előállított emberi energiát átalakítsuk olyan elektromos energiává, amely ezt követően környezetbarát forrásként felhasználható.

Jelen dolgozat olyan energiatermelő járólapok felszerelését hivatott bemutatni, amelyek képesek átalakítani az emberek lépéseiből keletkezett energiát elektromos árammá, amely az épületek belső világítására szolgálhat, csökkentve ezáltal a fosszilis energiahordozók által előállított nem megújuló energiaszükségletet. Az járólapok piezoelektromosság elve alapján működnek, ahol is a lépések általi nyomás hatására elektromos feszültség keletkezik. Az esettanulmány során meghatározásra kerül a koncepció fenntarthatósága, a megtérülési ráta és az előállított villamos energia hatása az épület primer energiaigényére.

2. A PIEZOELEKTROMOSSÁG

Mechanikai deformáció, például nyomás vagy ütés hatására bizonyos kristályokban a különböző előjelű töltéscentrumok szétválnak, és a kristály meghatározott lapjai között elektromos feszültség alakul ki [4]. Egyes kristályok, kerámiák, vagy polimerek megfelelő irányú deformációja elektromos potenciálkülönbséget eredményez, azaz az anyag polarizálódik. Ez a jelenség a piezoelektromosság, amelyet Pierre és Jacques Curie 1880-ban fedezett fel.

Az alkalmazásokban leggyakrabban előforduló piezoelektromos jelenséget mutató kristály a hatszöges rendszerben kristályosodó kvarc (SiO_2), amelynek rácspontjaiban felváltva helyezkednek el a pozitív és negatív ionok (1. ábra).



1. ábra. A kvarc kristály piezoelektromos viselkedése [5]

A szimmetriaközépponttal nem rendelkező szerkezetű kristályos anyagokban a rugalmas mechanikai terhelés hatására elektromos dipólusok keletkeznek, mert a pozitív és negatív töltésközéppontok különválnak, vagy a már meglévő dipólusok hossza megváltozik.

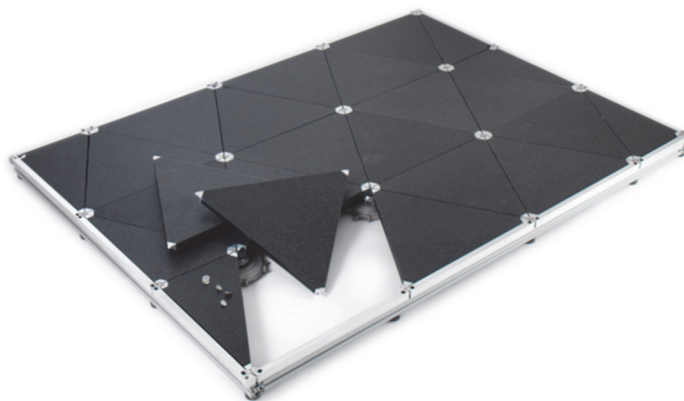
A megjelenő töltéskülönbség függ a deformáció irányától, ezért a kristály polaritása nem egyforma a nyomó, illetve a húzó terhelés esetében. A piezo anyag a töltést nem tartja, így a feszültség növekedésének megállásával a töltéskülönbségek megszűnnek, majd a feszültség ellentétes irányú növekedésével, vagyis csökkenésével ellentétes előjelű elektromos töltések halmozódnak fel, ami elektromos feszültséget hoz létre.

2.1. Pavegen járólapok

A piezoelektromos technológiát könnyen lehet használni zsúfolt helyeken, például éjszakai klubokban, futballpályákon, kórházakban, bevásárlóközpontokban, sétányokon, egyetemeken, táncházakban stb. A brit Pavegen Systems Ltd. Társaság [6], amelynek igazgatója Lawrence Kemball-Cook, a technológia szerzője, sikeresen gyárt és értékesít egyedülálló burkolólapokat az egész világon, amelyek villamos energiát termelnek a rajta sétáló gyalogosoknak köszönhetően.

Az innovatív csempe rugalmas használt vízálló anyagból készül, amelyet a használt gépjármű gumiabroncsok feldolgozása során nyernek, megadva ezáltal a csempe szilárdságát és kopásállóságát. Valahányszor rálépnek egy Pavegen járdaburkoló lapra, annak gumirétege fél centiméternyire összenyomódik, elnyeli a mozgási energiáját, és villamos árammá alakítja azt (2. ábra). A burkolólap felülete 100%-ban újrahasznosított autóabroncsokból, a váz pedig 80%-ban újrahasznosított anyagokból készül, elsősorban alumíniumból. A forgalmazó szerint egyetlen járólap, melynek mérete egy 50x50 cm-es háromszög formájú elem, képes

5-7 watt teljesítményt előállítani [6] [7] egy átlagos ember lépése által, és az élettartamuk megközelítőleg 20 év vagy 20 millió lépés.



2. ábra. A Pavegen járólapok [5]

3. ESETTANULMÁNY

Az energiatermelő járólapok beépítéséhez a nagyszalontai Arany János Elméleti Líceum új épületszárnyának földszinti bejárata lett kiszemelve, mint alkalmas terület. A tervezett 18 darab burkolólap egy 130x150 cm-es téglalapot formálva kerülne elhelyezésre. A forgalmazó által deklarált egységár a járólapokonként 75 EUR, amely tartalmazza az elemek beépítését is, így a kezdeti befektetés a tanulmányozott esetben 1350 EUR lenne.

A piezoelektromos burkolók által termelt energiamennyiség megközelítéséhez szükséges meghatározni az épület felhasználóinak számát. Az oktatási épület kapacitásából és az intézet által közölt adatok szerint az iskolában a következő felhasználók tartózkodhatnak: a tanév nappali óraiban amikor a tanítás folyik a felhasználók maximális száma 513 fő, ebből 450 középiskolás tanuló, 45 tanár és 18 kisegítő személyzet; a tanítás utáni periódusban, amikor a tantermek üresek, a maximális felhasználói létszám 78 fő, ebből 60 kollégiumban tartózkodó középiskolás és 18 kisegítő személyzet; a menza programján kívül az ebédlőben való személyek maximális száma 198 fő; a könyvtárban a szokásos munkaidőn kívüli tevékenységek maximális száma pedig 25 fő.

Feltételezhető, hogy a legnagyobb fluxus a tanév hétköznapjaiban reggel 8:00 és délután 16:00 óra között történik, amely naponta 8 óra intenzív aktivitást jelent. Becslések szerint ezekben az órákban 400 személy, hagyja el, illetve tér vissza az épületbe a szünetek során és minden áthaladás az energiagyűjtő járólapokon 4 lépésből áll.

Teljesítmények különböző napok szerint

1. táblázat

Napok típusa	Felhasználók száma	Lépés számok	Teljesítmény [W]
Tanítási napok	400	25.600	128.000
Hétfvégék	60	2.880	14.400
Ünnepnapok	20	640	3.200

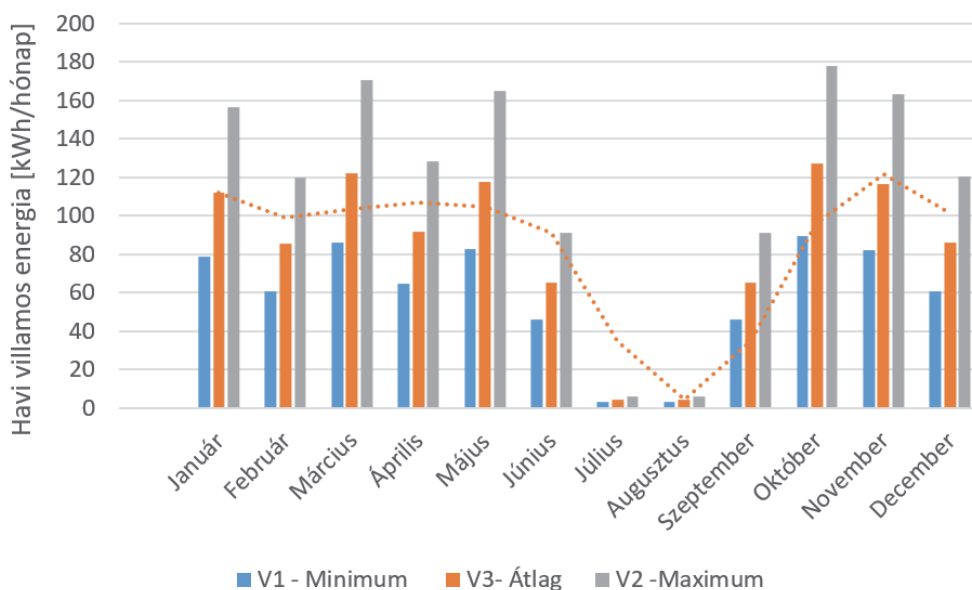
Mivel egy tanintézményről van szó, ahol a felhasználók túlnyomó többsége diák, így az általuk generált energia a személyek súlyából kifolyólag kisebb teljesítménnyel jár, ami számításaink szerint 5 W-ra csökken. Az energiatermelés értékének megközelítése érdekében három forgatókönyv került meghatározásra: V1 - egy pesszimista variáns, csökkentett fluxussal (kék); V2 - egy optimista, intenzív felhasználással (szürke) és V3 - egy olyan eset, amely a két variáns közötti középarányt képviseli (narancssárga). Az átlagos éves energia-termelés becslését, figyelembe véve az ünnepeket, a szabadnapokat, illetve a tanév időtartamát, a 2. táblázat mutatja.

Éves elektromos energiatermelés

2. táblázat

Hónap	Tanítási napok	Hétvégék	Inaktív napok	Megtett lépések száma			Teljesítmény [W]			Generált elektromos energia [kWh]		
				V1	V2	V3	V1	V2	V3	V1	V2	V3
Jan.	20	8	3	378.368	751.744	536.960	1.892	3.759	2.685	78,8	156,6	111,9
Febr.	15	8	5	289.792	574.336	410.240	1.449	2.872	2.051	60,4	119,7	85,5
Már.	22	7	2	411.392	818.496	584.640	2.057	4.092	2.923	85,7	170,5	121,8
Ápr.	16	9	5	310.016	614.208	438.720	1.550	3.071	2.194	64,6	128,0	91,4
Máj.	21	9	1	397.568	789.824	564.160	1.988	3.949	2.821	82,8	164,5	117,5
Jún.	11	8	11	221.184	436.352	311.680	1.106	2.182	1.558	46,1	90,9	64,9
Júl.	0	0	31	15.872	27.776	19.840	79	139	99	3,3	5,8	4,1
Aug.	0	0	31	15.872	27.776	19.840	79	139	99	3,3	5,8	4,1
Szep.	11	8	11	221.184	436.352	311.680	1.106	2.182	1.558	46,1	90,9	64,9
Okt.	23	7	1	428.800	853.440	609.600	2.144	4.267	3.048	89,3	177,8	127,0
Nov.	21	7	2	393.472	782.656	559.040	1.967	3.913	2.795	82,0	163,1	116,5
Dec.	15	8	8	291.328	577.024	412.160	1.457	2.885	2.061	60,7	120,2	85,9
Össz.	175	79	111	3.374.848	6.689.984	4.778.560	16.874	33.450	23.893	703,1	1.393,7	995,5

Ahogy a 3. ábrán is látható, a pesszimista és az optimista eset közötti különbség jelentős. Az utolsó esetben majdnem kétszer annyi villamos energiát állítanak elő a járólapok, mint az első esetben. Éves szinten ezek az értékek 703-1393 kWh/év-et mutatnak, így átlagosan 995 kWh villamos energia generálódik évente, ami hónapokra leosztva 82,96 kWh.



3. ábra. A járólapok által előállított elektromos áram

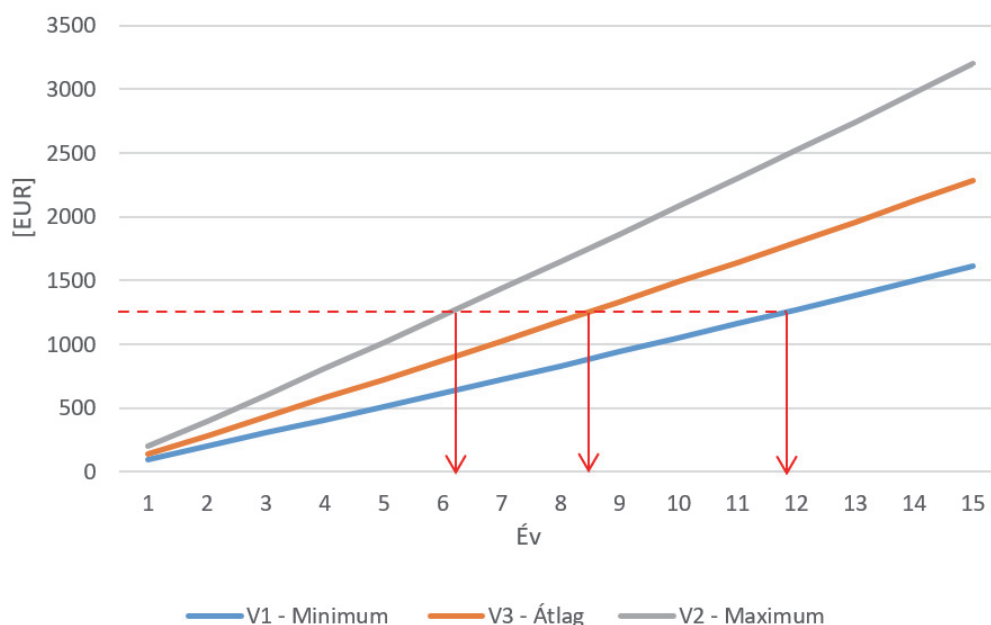
3.1. Megtérülési ráta

A becsült energia termelése folytán, az optimista és a pesszimista változat, megszabja azt a minimális, illetve maximális időintervallumot, amely során megtérülnek a kezdeti befektetések.

A romániai villamos energia átlagos egységárainak alakulása során az elmúlt 13 év adatai alapján évente átlagosan 0,85 %-os növekedés tapasztalható [8]. A villamos energia egységára 2021 első negyedévében 0,143 Euro/kWh ÁFÁ-val együtt, így a becsült átlagos éves energiatermelést átszámolva a megtakarított összeg az energiagyűjtő járólapok segítségével 100-199 Euro között van.

Számon tartva a villamos energia egységárának folyamatos növekedését és az éves szinten előállított energiát, a megtérülési ráta 6-12 év közé tehető (4. ábra), így levonható az a következtetés, hogy reális esetben is 8,5 év alatt a Pavagen járólapok többletköltsége megtérül.

Mivel a forgalmazó a járólapok élettartamát 20 évbe vagy 20 millió lépésszámba határozta meg, a legrosszabb esetben is bőven a megszabott határokon belül van a padlólapok kihasználtsága, mivel a legintenzívebb forgalom esetében is évi 265 ezer lépés generálódik, ami 12 év alatt is 3,18 millió lépés számot tesz ki.



4. ábra. A kezdeti befektetés megtérülése az évek alatt

3.2. Az épület primer energiafogyasztásának alakulása

A hazai épületenergetikai rendelet szerint az épületek összes energiafogyasztását primer energiában kell kifejezni. A primer energiaigény számításakor a különböző forrásokból származó végenergiát egy-egy váltószámmal szorozzuk meg, ezek a primerenergia-tényezők, amelyek figyelembe veszik az előállítási folyamat-hoz szükséges energiát, amely végtermékként eljut a fogyasztóhoz. Ez a folyamat tartalmazza az energiatermelést, -tárolást, illetve -szállítást és minden egyes energiahordozó esetén külön kerül meghatározásra.

Az iskola által felhasznált primerenergiát (E_p) az energiaforrásoknak megfelelően a végsőenergia szükséglet és a primerenergia-átváltási tényezők (f_p) szorzata adja. Egy korábbi tanulmány során meghatározásra került a nagyszalontai iskola végső és primerenergia fogyasztása abban az esetben amikor nem alkalmaznak Pavagen járólapokat. Az így kapott érték 125,81 kWh/m²év [9], és mivel az elektromos áram primerenergia-tényezője, lényegesen nagyobb a többi energiaforráshoz váltószámához képest, csökkentve az elektromos energia szükségletet, nagyobb arányban redukálódhat az épület primer energiaigénye. A Romániában használt MC 001/2006-os módszertan szerint az elektromos áram primerenergia váltószáma 2,62 míg a földgáz és egyéb energiaforrásé csupán 1-1,30 környékén mozog.

A járólapok átlagosan 995 kWh-t termelnek évente, ami megfelel 0,28 kWh/m²év fajlagos végsőenergia termelésnek. Az így kapott érték az épület teljes primer energiafogyasztására vetítve elenyésző, mivel a megújuló primer energia átalakítási tényezővel is csupán 0,75 kWh/m²év-vel csökken az energiaszükséglet, de az épület világításának éves energia igényét, amely 9,45 kWh/m²év, csaknem 8%-kal sikerül redukálni.

4. KONKLÚZIÓK

A Pavegen járólapok, mint tiszta-energiatermelő technológia még gyermekcipőben jár és világszerte nem elterjedt, de egyedül közelíti meg a fenntarthatóságot, egy olyan tevékenységből nyer energiát, amit az emberek napi szinten művelnek, a járást.

A kinetikus energia átalakítása során a járólapok évente átlagosan 995 kWh villamos energiát termelhetnének, ami az épület világításra szükséges éves energiaigény 8%-át teszi ki. A befektetett költségek 8 és 12 év között térülnének meg, és mivel az elemek 90%-ban újrahasznosított anyagokból készülnek, egy helyes és fenntartható irányt szabnak meg.

Habár a megtakarított energia elenyésző az épület teljes energiafogyasztásához mérve, viszont, ha apró „lépésekkel” is de közelebb lehet kerülni a hosszú távú klímasemlegesség eléréséhez és nem utolsó sorban arra ösztönzi az embereket, hogy legyenek aktívabbak.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2018/844 irányelve (2018. május 30.) az épületek energiahatékonyságáról szóló 2010/31/EU irányelv és az energiahatékonyságról szóló 2012/27/EU irányelv módosításáról, <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/844/oj> (Utolsó letöltés: 2021.05.15)
- [2] 13/2016: Rendelet az épületek energiahatékonyságáról szóló 372/2005. sz. törvény módosításáról, <https://www.monitoruloficial.ro/> (Utolsó letöltés: 2021.05.10)
- [3] C. Tudor-Locke, C. L. Craig, W. J Brown, S. A Cledes, K. De Cocker, B. Giles-Corti, Y. Hatano, S. Inoue, S. M. Matsudo, N. Mutrie, J. M. Oppert, D. A Rowe, M. D. Schmidt, G. M. Schofield, J. C. Spence, P. J. Teixeira, M. A. Tully, and S. N. Blair. *How many steps are enough? For adults*. International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 2011, 8(1), 79 - 95.
- [4] A. Tiwari, M. Ahmad, A. Tripathi, & A. Mishra. *Energy harvesting through piezoelectric cells for commercial use*. International Journal of Electrical, Electron. Commun. Eng. 1, 2012, 404-411.
- [5] Szakáll Sándor - Ásvány- és kőzettan alapjai, Miskolci Egyetem Földtudományi Kar, 2011
- [6] *** Pavegen. <https://www.pavegen.com/> (Utolsó letöltés: 2021.05.15)
- [7] M. Solban, R. Moussa. *Piezoelectric Tiles Is a Sustainable Approach for Designing Interior Spaces and Creating Self-Sustain Projects*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, 397 (1)
- [8] Eurostat – The statistical office of the European Union. <https://ec.europa.eu/Eurostat/> (Utolsó letöltés: 2021.05.15)
- [9] Boros J. *Épületek energetikai teljesítményének meghatározása és életciklus számítása*. – Doktori értekezés, Temesvári Műszaki Egyetem, 2021, Február