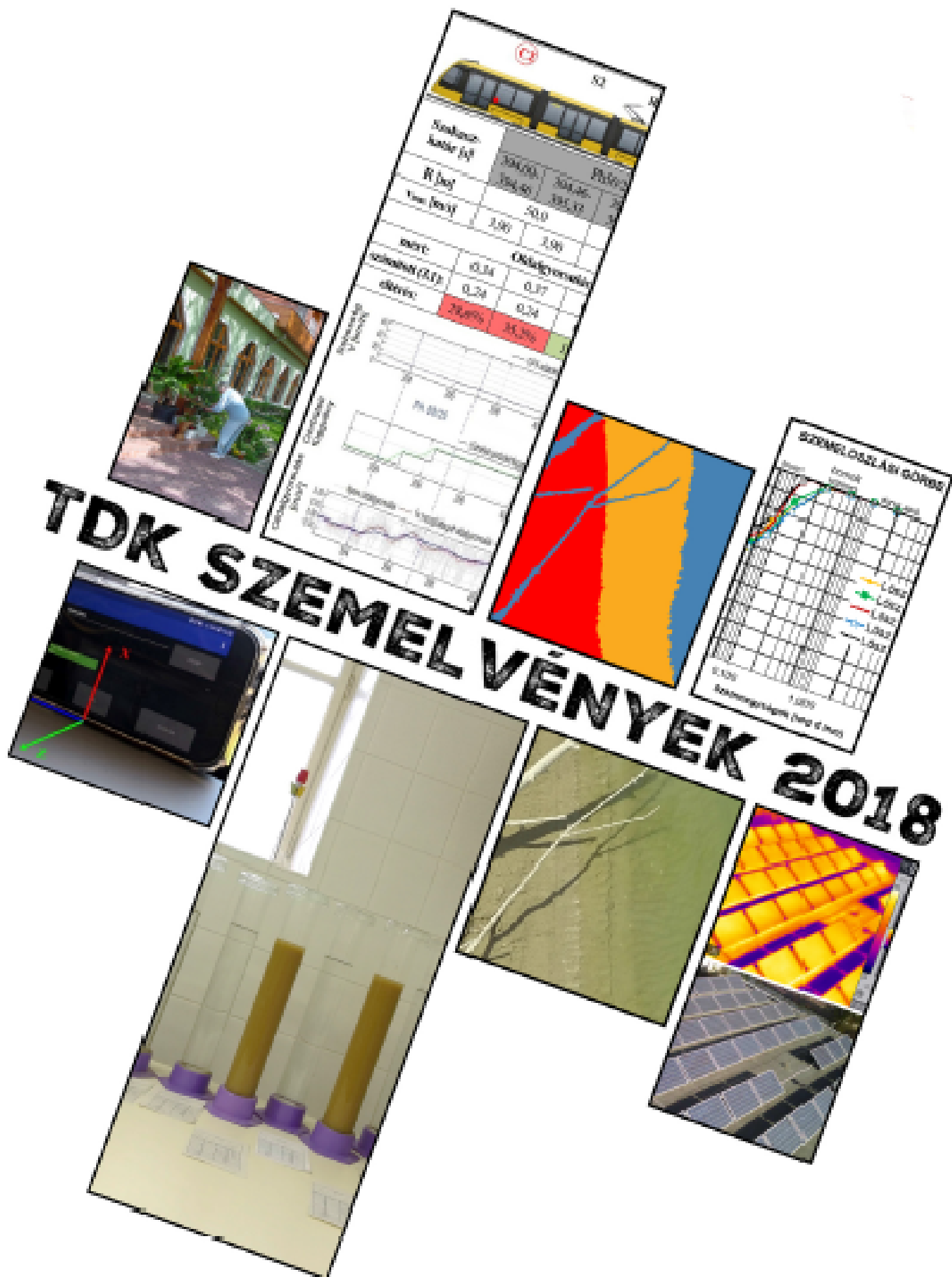




Válogatott munkák a BME Építőmérnöki Karának
2018. évi TDK Konferenciájáról

TDK Szemelvények 2018

Cím: TDK Szemelvények 2018
ISSN: 2559-9569
Felelős kiadó: Dr. Dunai László dékán
Kiadja a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Építőmérnöki Kar (1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.
+3614633531epito.bme.hu)
Szerkesztő: Dr. Takács Bence
Kiadás éve: 2019

Tartalomjegyzék

Bevezető	4
Szagri Dóra Idősotthonok nyári túlmelegedésének dinamikus szimulációval támogatott vizsgálata	6
Gonda Evelyn A pálya-jármű kölcsönhatás mozgásgeometriai vizsgálata közúti vasúti kitérőkben és kis sugarú pályáívekben okostelefonok szenzoradatainak felhasználásával	18
Benkő Gergely Analysis of river bed material composition with Deep Learning based on drone video footages	33
Lajkó Rebeka Hidrométeres talajvizsgálat során a diszpergálószer különböző koncentrációban tett hatása a szemeloszlási görbe alakjára	46

BEVEZETŐ

Kiadványunk válogatás a BME Építőmérnöki Karának 2018. évi Tudományos Diákköri (TDK) konferenciáján bemutatott pályamunkák közül.

Karunkon az elmúlt években többször készült hasonló kiadvány a TDK dolgozatokból, amelynek célja, hogy a TDK konferencia kiemelkedő, szekciójukban első díjas dolgozatait könnyen hivatkozható, rövid terjedelmű tudományos cikk formájában is közreadjuk, és ezzel a publikációs lehetőséggel a tudományos pályájuk kezdetén segítsük a szerzőket.

Napjainkban sok minden változik a felsőoktatásban. Karunkon tanúi lehetünk a hallgatói létszám jelentős csökkenésének. Feltehetően ennek a következménye, hogy a TDK dolgozatok abszolút száma is csökkenésnek indult az utóbbi években. Ugyanakkor a TDK konferenciáink színvonala, hangulata töretlen. Bámulatos, hogy a rengeteg tanulnivaló és egyéb kötelezettség mellett évről-évre önként jelentkeznek diákjaink TDK munkára. Elismerésre méltó az is, hogy zsenye koruk ellenére milyen meggyőzően mutatják be tudományos kutatásaik eredményeit. A diákok tudományos kutatásait mostanában több kormányzati kezdeményezés is jelentősen támogatja, többek között az Új Nemzeti Kiválóság Program (ÚNKP). Várjuk, hogy az ehhez hasonló lehetőségek hatására a TDK dolgozatok száma is növekedésnek indul, és ha lehet a beadott dolgozatok színvonala is tovább erősödik.

A kiadvány szerkesztésének idején rendezte egyetemünk az Országos TDK Konferencia Műszaki Tudományi, illetve Kémiai

és Vegyipari szekcióinak konferenciáját. Egyetemünk és különösen az Építőmérnöki Kar eredményeire büszkék lehetünk, a 28 bemutatott pályamunka közül 23 ért el díjat vagy helyezést. Külön öröm, hogy több sikeres pályamunka mögött fiatal oktatók és doktoranduszok állnak témavezetőként, biztosítva ezzel oktatóink körében a TDK iránti elköteleződés folytonosságát. Öszintén reméljük, hogy az OTDK sikerei is hozzájárulnak ahhoz, hogy a 2019. évi kari TDK konferencián ismét magas színvonalú pályamunkák bemutatására fog majd sor kerülni és ezek közül a válogatott pályamunkák kiadványa 2019. évben is meg fog jelenni.

A kiadvány szerkesztése, összeállítása, a borító terve Tóth Flóra, kommunikációs munkatársunk munkája.

Dr. Takács Bence
kari TDK felelős

Dr. Krámer Tamás
tudományos dékánhelyettes

Időotthonok nyári túlmelegedésének dinamikus szimulációval támogatott vizsgálata (Investigating the summer overheating of elderly homes supported by dynamic simulations)

Szagri Dóra MSc II. évf.

Konzulensek:

Dr. Szalay Zsuzsa egyetemi docens

Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

Dr. Csanaky Judit Emília adjunktus

Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

Nagy Balázs

Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

Kulcsszavak: dinamikus épületszimuláció; hőhullámok; nyári túlmelegedés; kérdőív

1. Bevezetés

A napjainkban megfigyelhető klímaváltozás nem csak az ökoszisztémára van jelentős hatással, befolyása az élelmiszerellátásban, mezőgazdaságban és az egészség szempontjából is meghatározó. Elég visszagondolni a 2003-as hőhullámra, mely során több mint 80.000 hőhullámmal összefüggésbe hozható halálesetet regisztráltak 12 ország adatai alapján [1]. A probléma fontosságát mi sem mutatja jobban, minthogy rendszeresen találkozunk a témával a különböző hírforrásokban (televízió, internet, rádió): riportok, interjúk formájában hívják fel a figyelmet a veszélyekre és a megelőzés lehetőségeire.

Magyarország esetében az Országos Katasztrófavédelmi Minisztérium értelmezése alapján hőhullámnak nevezzük, ha 3 egymást követő napon a napi átlaghőmérséklet $26,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ felett van. Számos kutatás alapján egyértelműen kimutatható, hogy a hőhullámok alkalmával nemcsak a felmerülő egészségügyi problémák, de a halálozások számának emelkedése

is jelentős. A veszélyeztetettebb csoportok közé tartoznak a csecsemők és fiatalok, illetve a 65 évnél idősebbek, fogyatékosok, szívbetegségekben és magas vérnyomásban szenvedők. A dolgozatban a 65 évnél idősebb csoporttal foglalkozom részletesen, ezen belül is a Budapesten található idősotthonokat vizsgálom a nyári túlmelegedés szempontjából.

2. Szakirodalmi áttekintés

Éghajlati elemzések alapján elmondható, hogy a 25 °C feletti középhőmérsékletű hőhullámos napok száma az ország középső és délföldi területein a legmagasabb, ha az elmúlt évtizedek tendenciát elemezzük. Magasabb hegységeink esetében nem volt jellemző a hőhullámos napok előfordulása, míg az Alpokalja és a Dunántúli-középhegység térségében már számolnunk kell a fellépésükkel melegebb nyarak alkalmával. A 2016-os évig vizsgált legutolsó évtizedben, a hőhullámos napok száma már elérte a 14-et, mely a múlt század elejével összehasonlítva 6 napnyi növekedést jelent [2]. Ha a jövőbeli időjárást tekintjük, úgy a nyári napok számában egyértelmű növekedés prognosztizálható: 2021-2050-re várhatóan 16-20 napra, de bizonyos országrészekben 20 napot meghaladó nyári napokra kell számítani [3]. A magas hőmérséklet nemcsak hőgutát okoz, hanem számos hőmérséklettel összefüggő egészségügyi állapot súlyosbodását vonhatja maga után. A hőhullám egészségre vonatkozó hatásának felmérése olyan kihívást jelentő feladat, amit gyakran alábecsülnek a kutatók [4]. Nem csupán az egészségügyi hatásai jelentősek, hiszen kimutatható hatása van az erőszakos bűncselekmények [5] és a halálos közúti balesetek [6] számában is. A hőhullámok gyakori előfordulása és az extrém meleg időjárás mellett a mentőszolgálatok munkaterhelése is fokozódik [7].

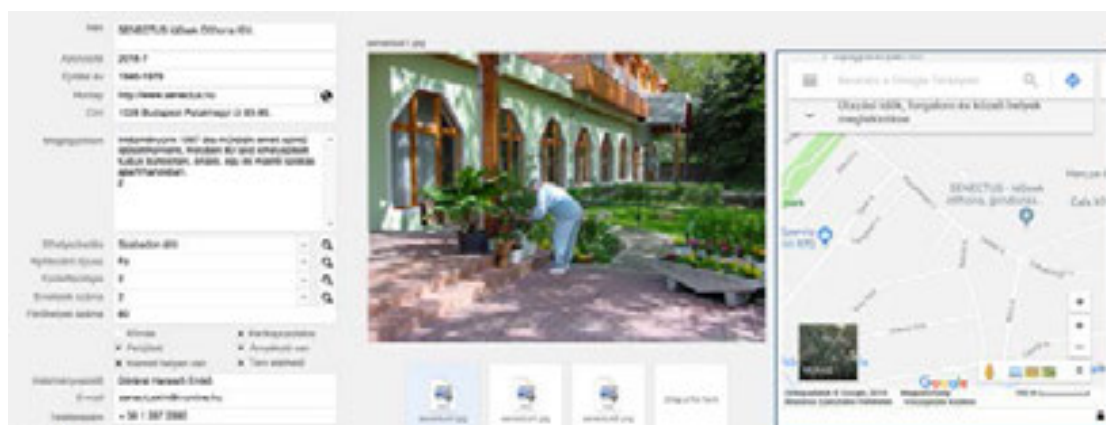
Már az 1970-es években is végeztek kutatást arra vonatkozóan, hogy a légkondicionáló használata miként segíti csökkenteni a hőhullámok hatását az idősotthonokban [8]. Az elemzések kimutatták, hogy a nem légkondicionált épületekben a halandóság szignifikánsan emelkedik, és amennyiben ezekben az épületekben is alkalmaznák a légkondicionáló berendezéseket, úgy jelentősen csökkenthető lehetne a halálesetek száma.

Németországi felmérések alapján 74.753 nőt és 21.055 férfit vizsgáltak a 65 év feletti korcsoportban, akik 2001-2005 között idősotthonokban éltek Baden-Württemberg tartományban [9]. Felvételtkor a lakók több mint fele a 80-89 éves korcsoportba tartozott, ahol 3 kategóriába sorolták őket aszerint, hogy az egészségügyi állapotuknak megfelelően mennyi gondozást igényelnek. Az eredmények alapján ebben az esetben is érvényes az a

megállapítás, hogy a növekvő hőmérséklettel párhuzamosan a halálozási arány is növekszik: 30,0-31,9 °C, 32,0-33,9 °C és 34 °C esetében az arány 18, 26 és 62%-kal emelkedett. Hasonló tendencia volt megfigyelhető a különböző nemeket és gondozási kategóriát elemezve.

3. Adatgyűjtés, kérdőíves felmérés

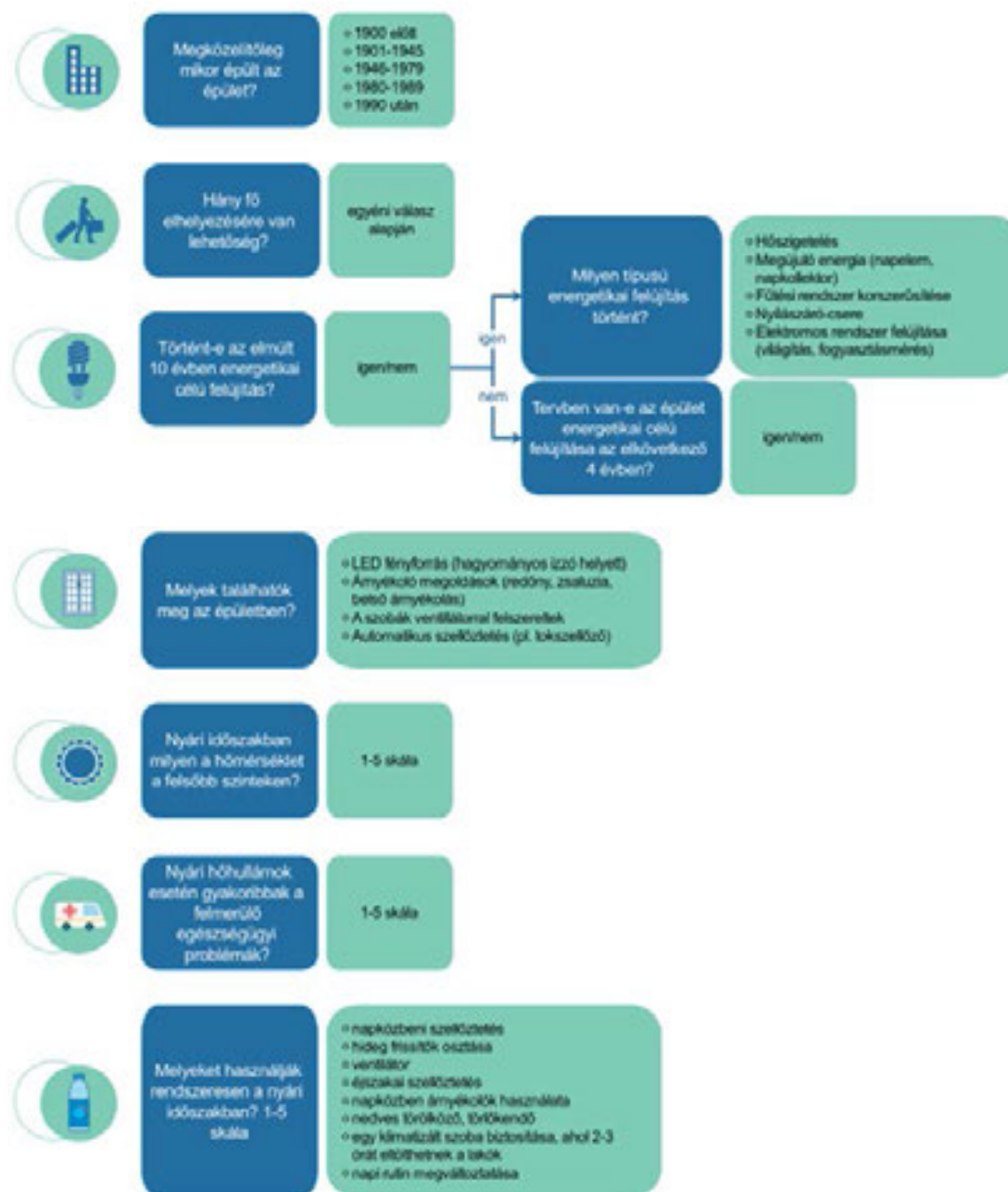
A nyári hőhullámokkal kapcsolatban az idősebb korosztály az egyik legveszélyeztetettebb, így dolgozatomban a budapesti idősotthonokat választottam ki célcsoportként. A vizsgálatba bevont intézményeket internetes kereséssel gyűjtöttem össze. A tanulmányomban összesen 73 idősok otthona képezte az adatbázis alapját, amelybe felvittem az otthonok nevét, címét, a férőhelyek számát, az épület kialakításával kapcsolatos fontosabb tudnivalókat és egyéb kapcsolattartási adatokat (honlap, telefonszám, e-mail cím, intézményvezető neve). A megjegyzések mezőbe jegyeztem fel az épületről elérhető online információkat pl. alapítás éve, elnyert támogatások stb. Az előzetes kutatás alapján az épületszerkezettel kapcsolatos fontosabb információk is feljegyzésre kerültek. Az adatbázis alap elrendezése a 1. ábrán látható.



1. ábra: adatbázis felépítése

3.1 Kérdőíves felmérés

A kérdőív felépítésénél elsődleges szempont volt az összeállítás során, hogy egy gyorsan kitölthető űrlapot készítssek, amely a téma szempontjából releváns információkat megfelelően összegezi. Az elkészítést követően e-mailben elküldtem az intézményvezetőknek az űrlapot, illetve a későbbiekben telefonos megkeresés útján gyűjtöttem be a válaszokat. Összesítésként elmondható, hogy az általam felmért otthonok 41%-a, azaz 30 otthon segítette kitöltéssel a munkámat. A kérdőív szerkezeti felépítése a 2. ábrán látható.

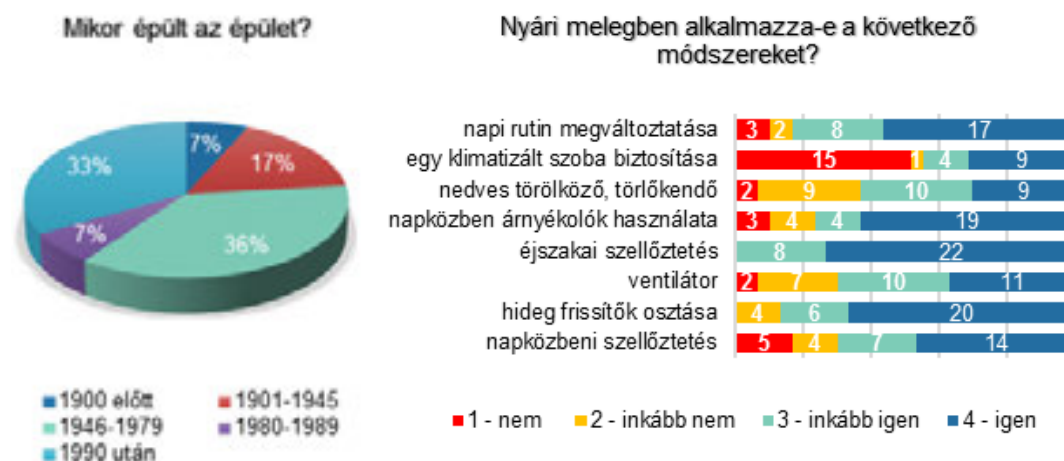


2. ábra: kérdőív szerkezeti felépítése

3.2 Kérdőíves felmérés eredményei

A felmérés eredményei alapján látszik, hogy a budapesti idősoththonok típusa, állapota és életkora (3. ábra – bal oldal) igen nagy szórást mutat. A kategóriák felvétele a Nemzeti Épületenergetikai Stratégia [10] szerinti építési idők alapján történt. Az épületek legnagyobb hányada az 1946-1979-es időszakban épült, közel negyede pedig még ezt megelőzően, a század elején. Az újabb építésű otthonok (1990 után) aránya 33%. Az eredményeket

összevetve az elkészült adatbázissal, az is látszik, hogy a kérdőív kitöltésében inkább az újabb építésű otthonok vettek részt, így az eredményből nem lehet teljes következtetést levonni az egész budapesti állományra.



3. ábra: kérdőív eredményei: építés ideje és a nyáron alkalmazott módszerek

A vizsgált épületek nagy részében, 20 otthonban történt valamilyen energetikai felújítás az elmúlt 10 évben, a maradék 10 épület közül pedig 4 tervezi az épület felújítását az elkövetkezendő 4 évben. A 20 otthon közül leggyakrabban a nyílászáró-csere és a fűtési rendszer korszerűsítése történt meg. A felújítási megoldásokat általában kombinálták, csupán 4 esetben végeztek 1-1 felújítási opciót.

A kérdőív további részében az energiatakarékos és a hőhullámok során kiemelt fontosságú berendezéseket is felmértem. A vizsgált otthonok 60%-a LED fényforrást használ, illetve 80%-ban árnyékoló megoldás is található az épületekben. A ventilátorok 26%-os, míg az automatikus szellőztetés 13%-os aránya viszont elég alacsony.

A felsőbb szinteken tapasztalható hőmérséklet szempontjából kritikus a helyzet: az otthonok több mint 66%-a szerint *nagyon meleg*, vagy *meleg* van a szobákban, akár annak ellenére is, hogy az épület felújításon esett át. A 30 otthon közül egy sem választotta a *kellemes* a hőmérséklet opciót, csak 10% szerint *viszonylag kellemes* a hőmérséklet.

Az utolsó kérdésben a nyári időszakban alkalmazott módszereket mértem fel: a válaszadók fele rendszeresen szellőztet napközben is a nyári melegben, annak ellenére, hogy inkább az éjszakai szellőztetés ajánlott. A leggyakoribb megoldás a napközbeni árnyékolóhasználat, éjszakai szellőztetés, hideg frissítők osztása és a napi rutin megváltoztatása, ezeket minden otthon legalább fele rendszeresen alkalmazza (3. ábra - jobb oldal).

Az épületekkel kapcsolatos főbb megállapítások:

- A vizsgált otthonok összesen 3085 főt tudnak befogadni, ami a budapesti kapacitásnak mintegy fele.
- A válaszadók többsége 1946-1979 között épült épületben dolgozik, és a budapesti épületek többségében nem található klímaberendezés, habár az épületek 30%-ban van egy klimatizált szoba, ahol a lakók eltölthetnek néhány órát.
- Az épületek 67%-a átesett valamilyen energetikai felújításon, ugyanakkor a válaszadóknak csupán 10%-a mondja azt, hogy a felsőbb szinteken viszonylag kellemes a hőmérséklet.
- Az otthonok 80%-a rendelkezik árnyékoló megoldásokkal, illetve 60%-a LED fényforrást használ.

Az alkalmazott módszerekkel kapcsolatos megállapítások:

- Minden épületben szellőztetnek éjszaka.
- A ventilátorok az esetek 26%-ban rendelkezésre állnak, használatuk ~70%-os.
- Az otthonok nagy részében (80%) megváltoztatják a napi rutint a nagy melegben, azaz az esetleges foglalkozások, torna, séta stb. időpontja módosul (pl. reggeli vagy késő délutáni órákra időzítik) a meleg idő miatt.
- A legnépszerűbb módszerek közé tartozik a hideg frissítők osztása (86%), nedves törölkendőt, törülközőt pedig 63%-ban használnak.

4. Dinamikus épületszimuláció

A választott épület a kérdőíves felmérés alapján az 1946-1979-es időszakban épült, 131 fő elhelyezésére van lehetőség, így az eredmények alapján a nagyobb kapacitású otthonok közé sorolható. Történt energetikai célú felújítás: hőszigetelés, nyílászáró-csere és napelemek (136 db) telepítését is elvégezték. A helyszíni mérések során megvizsgáltam az épület és az alaprajzok esetleges hiányosságait, és kiegészítő méréseket végeztem a szimulációhoz szükséges geometria elkészítéséhez. A helyszíni bejárás során megállapítottam a homlokzati hőszigetelések méretét, megvizsgáltam a beépített nyílászárók tulajdonságait, illetve a beállított téli fűtési hőmérsékleteket. Az épületre vonatkozóan csak alaprajzok álltak rendelkezésre, így a rétegrendek felvétele részben a helyszíni mérések, illetve a korszak jellemző rétegrendjei alapján történt. A felvett szerkezetek hőátbocsátási tényezőinek értéke az 1. táblázatban olvasható.

1. táblázat: vizsgált épület hőátbocsátási tényezői

Szerkezet neve	Hőátbocsátási tényező (W/m ² K)
Pince falazat	2,156
Talajon fekvő padló	2,874
Homlokzati fal	0,366
Homlokzati fal (iroda)	1,462
Lábazati fal	0,674
Közbenső födém	0,859
Zárófödém	1,313
válaszfal (10 cm)	1,477
válaszfal (blokkos)	2,065

A szimulációhoz használt időjárásfájl egy generált időjárás, Budapest-Lőrinc, Kecskemét, Szarvas és Debrecen állomás meglévő mérési adatait is felhasználva, azokból interpolálva, ugyanis a vizsgált otthon Budapesten, a 10. kerületben található, melyhez nem áll rendelkezésre konkrét adatsor. A dolgozat része a jövőbeli klíma hatásainak vizsgálata is. Ehhez 2050 és 2100-ra vonatkozó, IPCC A2 scenárió szerint generált időjárással dolgoztam. A levegő hőmérséklete minden jövőbeli klíma esetében jelentősen emelkedik, az évi átlagos hőmérséklet értéke: 12,38 °C, 2050-ben 14,38 °C, míg 2100-ban 16,44 °C, mely kb. 2 °C növekedést jelent évente.

A belső tervezési feltételek esetében az elvárt minimális hőmérsékleteket adtam meg: a pincehelyiségben, az irodarészen és az épület többi részében 20 °C az elvárt hőmérséklet. A déli oldalon lévő árnyékolók működtetésének „célja” a túlmelegedés csökkentése (reduce overheating profil), továbbá beállítottam az árnyékolási faktorokat is. Az otthon déli oldalán több nagyméretű fa is található 5 m-re a homlokzattól, mely láthatóan befolyásolta a benapozottságot, illetve a pillérek túllógása a homlokzati síkon szintén módosította a benapozás mértékét.

A légcserét tekintve 0,1 1/h infiltrációt állítottam be 0,5-ös légcsereszámmal, a nyári időszakban viszont az éjszakai órákban (este 20-tól reggel 6 óráig) emelt légcserét (2 1/h) használtam a referencia modell elkészítése során. A belső nyereségek tekintetében egyénileg állítottam be a zónákban tartózkodó emberek számát és a végzett cselekvést. Ez általános esetben ülő vagy könnyebb ülő cselekvést végző, illetve lassan sétáló személyeket jelentett.

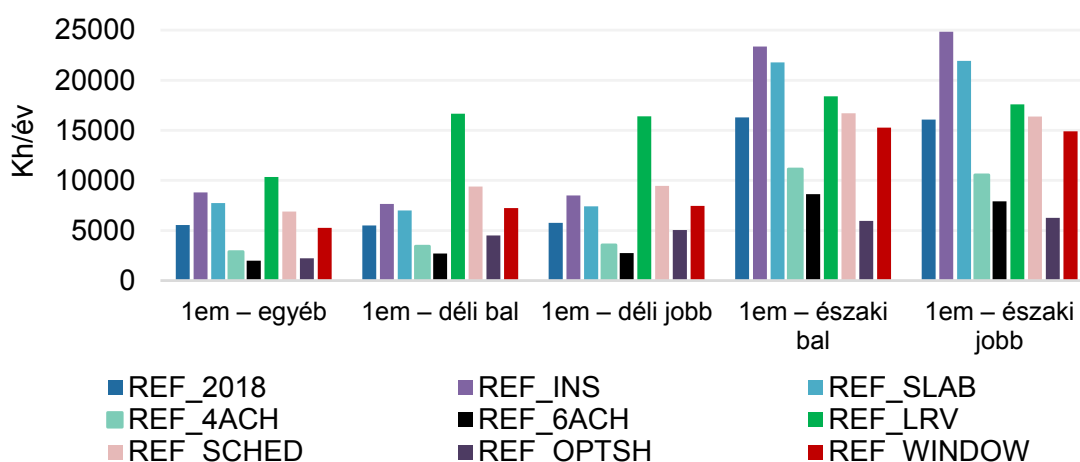
Az alap modellhez képest többféle felújítási javaslatot is vizsgáltam szintén a nyári túlmelegedések értékét figyelve. A vizsgált változatok a 2. táblázatban olvashatók.

Első lépésként a jelenlegi időjárásfájllal dolgoztam, és 1-1 opciót változtattam a modellben, megvizsgálva azok hatását. Majd a kapott eredmények alapján készítettem egy új modellt az összes felújítási módszert (8.opció) ötvözve, melyet a 2050-re és a 2100-ra vonatkozó időjárásfájllal is megvizsgáltam. 9. opcióként a hőszigetelés nélküli épületet vizsgáltam az előzőek alapján megállapított legoptimálisabb megoldásokkal.

2. táblázat: dinamikus épületszimuláció során vizsgált opciók

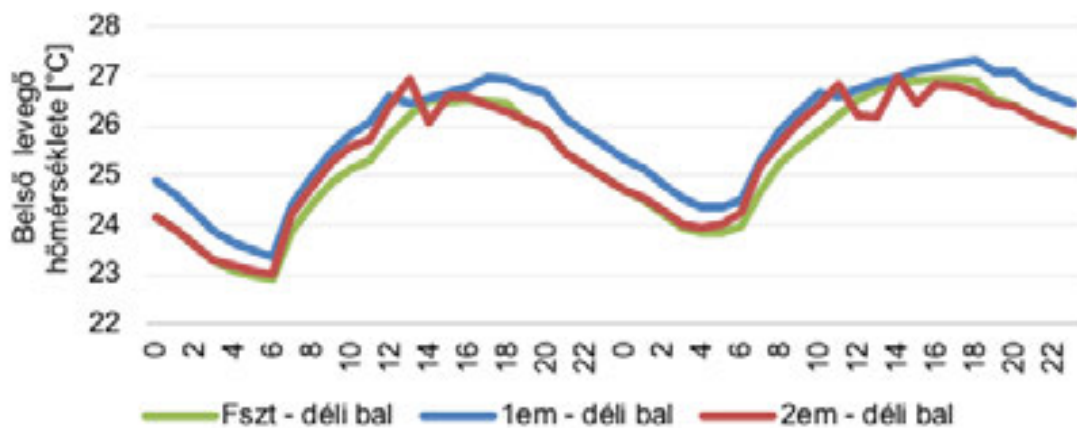
Opció neve	Leírás	Szimuláció azonosító
1. opció	20 cm homlokzati/lábazati és zárófödém hőszigetelés	REF_INS
2. opció	csak zárófödém hőszigetelés (20cm)	REF_SLAB
3/a opció	nyári légsere esti értéke: 4 l/h	REF_4ACH
3/b opció	nyári légsere esti értéke: 6 l/h	REF_6ACH
4. opció	redőny működtetése „limit radiation value” szerint (500W)	REF_LRV
5. opció	redőny működtetése ütemterv szerint	REF_SCHED
6. opció	a leghatékonyabb redőnybeállítás szerint, minden nyílászáró esetében használva	REF_OPTSH
7. opció	jelenlegi nyílászárók helyett jobb, 0,8 W/m ² K értéket alkalmazva	REF_WINDOW
8. opció	összes felújítási módszert ötvözve	REF_FULL
9. opció	az extra hőszigetelés nélküli épület, az előzőek alapján megállapított legoptimálisabb megoldásokkal	REF_COST

Az eredmények értékelése elsősorban az ODH₂₆ indikátor szerint történt, melynek jelentése „Overheating Degree Hours above 26 °C”, azaz a 26 °C felett alakuló hőmérséklet óráinak száma. Ezzel meghatározható, hogy mennyi ideig és milyen mértékben tartott a jelzett túlmelegedés (mértékegysége Kh/a, azaz Kelvin*óra/év).



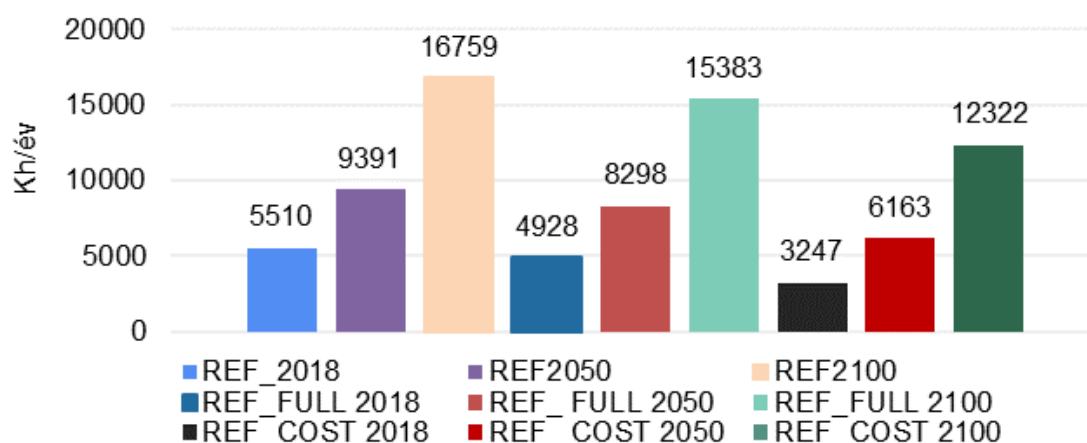
4. ábra: ODH₂₆ indikátor értékei az első emeleti blokkokban különböző változatok esetén

A vizsgálat alapján az épület hőszigetelése esetében az indikátor értéke jelentős mértékben, 68% és 86%-kal emelkedik (4. ábra). Ennek oka elsősorban az, hogy a könnyen felmelegő épület a tartósan meleg napok mellett nehezen tud lehűlni, az alkalmazott éjszakai légcseré értéke nem elegendő a hőmérséklet jelentős csökkentéséhez. Amennyiben csak a fűdemen helyezünk el hőszigetelést szintén ez a jelenség tapasztalható. Ezekben az esetekben a hőszigetelés elhelyezése gátolja az éjszakai égbolt felé történő lesugárzást. Az éjszakai légcseré számának emelése azonban jelentősen csökkentette a túlmelegedett órák számát, 4 l/h értéket alkalmazva 36%-kal, 6 l/h értéket alkalmazva pedig 52%-kal. A nyílászárók cseréje nem eredményezett szignifikáns különbséget, míg a redőny üzemeltetési szokások vizsgálata nagyban befolyásolta az eredményeket. A referenciaépületben használt „reduce overheating” opciónál egyik megoldás sem bizonyult jobbnak. Ez a beállítás automatikusan lehúzotttá feltételezi a redőnyöket, amint eléri a zóna hőmérséklete a maximális hőmérsékletet. „Limit radiation value” beállítás esetében a redőny mindaddig lehúzva marad, amíg a sugárzás értéke eléri az 500 W-ot. A „schedule” beállítás esetén viszont egyedi ütemterv megadására van lehetőség, itt a valósághoz hasonlóan nappal a redőnyök le voltak engedve, míg éjszaka felhúzotttá feltételeztem őket, különböző sötétítési fokkal beállítva.



5. ábra: belső léghőmérséklet változása emelt légcserét alkalmazva

A jövőbeli klímát elemezve az utolsó eredménycsoportot tekintve (6. ábra), melyben elhagytam a további hőszigetelést az épületről, illetve csak az optimális árnyékolást/szellőztetést alkalmaztam, nagymértékű (75% - 50%) csökkenést lehetett elérni mind a három klímafájl esetében. A 2018-as időjárást vizsgálva 75%-os, míg a 2050-est elemezve közel 50%-ban sikerült csökkenteni az indikátor mértékét.



6. ábra: épület ODH_{26} indikátorának változása jövőbeli klíma esetén

Összességében a választott módszerek hatékonyan csökkentették a nyári időszakban tapasztalható meleg órák számát, leghatékonyabb megoldásnak az optimalizált felhasználó szokások (REF_COST) bizonyultak, de a hőszigeteléssel kiegészített változat is (REF_FULL) is hatékony a probléma megoldásának szempontjából.

5. Összefoglalás

Kutatásom nagyban hozzájárult a budapesti időotthonok állapotának felméréséhez, a budapesti kapacitás mintegy feléhez sikerült eljuttatni az űrlapokat és megkérdezni a véleményüket a témában. A kérdőíves felmérés eredményei alapján elmondható, hogy ez az épületcsoport valóban kiemelten veszélyeztetett. Mindenképp pozitív eredménynek mondható, hogy az otthonok 80%-a rendelkezik árnyékoló megoldásokkal, illetve 60%-a LED fényforrást használ, ellenben a ventilátorok száma csekélynek mondható (26%).



7. ábra: Balról: vizsgált épület, zónafelbontás, elkészült modell

A felmérés tanulsága, hogy az épületek nyári túlmelegedése egy igen komoly probléma ma Magyarországon, és kiemelten fontos foglalkoznunk nemcsak a téli fűtési energia csökkentésével, hanem az épületek nyári túlmelegedésével is. A dolgozat készítése során létrehozott adatbázis nagy segítség lehet későbbi elemzések készítéséhez, illetve sérülékenységi index létrehozásához is.

A dinamikus szimuláció eredményei alapján meghatároztam azokat a főbb paramétereket, amelyek nagy szerepet játszanak a nyári belső hőmérséklet csökkentésében. Megfelelő iránymutatást nyújthatnak, hogy a nyári túlmelegedés során milyen módszerekkel lehet javítani egy légkondicionáló nélküli épület túlmelegedésén.

Főbb megállapítások:

- A vizsgálatok alapján az épület hőszigetelése esetében az indikátor értéke 68-86%-kal emelkedett, azaz az épület felmelegedése szempontjából nem különösebben kedvező a használata. Viszont nem szabad elfeledkeznünk arról, hogy a további hőszigeteléssel a fűtési energiafogyasztás mértéke szignifikáns mértékben csökkenthető.
- Másik megállapítás, hogy a hőszigetelés használata megváltoztatja az épület felmelegedésének dinamikáját: az eredetileg jobban felmelegedő 1. szint hőszigetelés alkalmazása után kevésbé melegszik fel, ebben az esetben a 2. emelet lesz a legmelegebb része az épületnek.
- Az éjszakai légcseré számának emelése jelentős mértékben segítette a belső hőmérséklet csökkentését: 4 l/h értéket alkalmazva 36%-kal, 6 l/h értéket alkalmazva pedig 52%-kal.
- A redőnyök működtetésének is kiemelt hatása van, bár a legjobb eredményt a szoftveren belül a „reduce overheating” profillal sikerült elérni, ám ez nem feltételen felel meg a valós működtetési rutinnak.

Célszerű lenne a továbbiakban monitoring méréseket végezni legalább 1 éves időtartammal, ami alapján lehetőség lenne a modell kalibrálására. Illetve érdemes lenne részletesebben felmérni az épületekben a felhasználói szokásokat, és ez alapján elemezni tovább a modelleket. Ugyan a dolgozatban mesterséges hűtés nélküli épületet elemeztem, számos előzőleg bemutatott tanulmány javasolja a légkondicionáló berendezés használatát. Ennek az egészségügyi létesítményekben kiemelt szerepe van a hőhullámokkal kapcsolatos halálozások csökkentésében, így célszerű lenne megvizsgálni az alkalmazását, beruházási, fogyasztási és élettani hatások szempontjából is.

6. Köszönetnyilvánítás

A tanulmány alapjául szolgáló kutatást az Emberi Erőforrások Minisztériuma által meghirdetett Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program támogatta, a BME FIKP-VÍZ tématerületi programja keretében.

7. Hivatkozások

- [1] J. Robine, S. L. Cheung, S. Le Roy, H. Van Oyen, and F. R. Herrmann, “Report on excess mortality in Europe during summer 2003,” *Statistics (Ber)*, vol. 2003, no. February, p. 15, 2007.
- [2] Z. Bihari *et al.*, “Magyarország nemzeti atlasza: éghajlat.” MTA CSFK Földrajztudományi Intézet, pp. 58–69, 2018.
- [3] M. Lakatos *et al.*, “Éghajlati szélsőségek változásai Magyarországon : közelmúlt és jövő,” p. 11, 2012.
- [4] J. Kravchenko, A. P. Abernethy, M. Fawzy, and H. K. Lysterly, “Minimization of heatwave morbidity and mortality,” *Am. J. Prev. Med.*, vol. 44, no. 3, pp. 274–282, 2013.
- [5] B. Sanz-Barbero, C. Linares, C. Vives-Cases, J. L. González, J. J. López-Ossorio, and J. Díaz, “Heat wave and the risk of intimate partner violence,” *Sci. Total Environ.*, vol. 644, pp. 413–419, 2018.
- [6] C. Y. H. Wu, B. F. Zaitchik, and J. M. Gohlke, “Heat waves and fatal traffic crashes in the continental United States,” *Accid. Anal. Prev.*, vol. 119, no. April, pp. 195–201, 2018.
- [7] J. Cheng *et al.*, “The burden of extreme heat and heatwave on emergency ambulance dispatches: A time-series study in Huainan, China,” *Sci. Total Environ.*, vol. 571, pp. 27–33, 2016.
- [8] M. Marmor, “Heat wave mortality in nursing homes,” *Environ. Res.*, vol. 17, no. 1, pp. 102–115, 1978.
- [9] J. Klenk, C. Becker, and K. Rapp, “Heat-related mortality in residents of nursing homes,” *Age Ageing*, vol. 39, no. 2, pp. 245–252, 2010.
- [10] ÉMI Építésügyi Minőségellenőrző és Innovációs Nonprofit Kft., “Nemzeti Épületenergetikai Stratégia,” pp. 1–101, 2015.