

# **BEÉPÍTETT HŐSZIGETELÉSEK ÉPÜLETENERGETIKAI TELJESÍTŐKÉPESSÉGÉNEK VÁLTOZÁSA MONITORING MÉRÉSEK ALAPJÁN**

Szagri Dóra<sup>1</sup>, Nagy Balázs<sup>1</sup>, Bakonyi Dániel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,  
Építőmérnöki Kar, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék**

<sup>2</sup>**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,  
Építészmérnöki Kar, Épületszerkezettani Tanszék**

## **ÖSSZEFOGLALÁS**

*Napjainkban nem csak az új építésű épületek esetében központi terület az épületenergetika, de a felújítási munkák során is kiemelt figyelmet kell fordítanunk rá. Jelen kutatás témája részben egy utólagosan hőszigetelt családi ház fűtési energiamegtakarításának mérése és meghatározása. A kutatás során a hőszigetelés kivitelezési technológiája is vizsgálatra került a szerkezeti rétegekben elhelyezett monitoring pontok segítségével. A mérési eredmények elemzése után elkészítettük a falazat és a födém dinamikus kapcsolt hő- és nedvességtranszport szimulációját, továbbá a teljes épület háromdimenziós modelljét, mellyel a fűtési energiafogyasztást határoztuk meg.*

## **KULCSSZAVAK**

*Épületenergetika, hő- és nedvességtranszport, hőszigetelés*

## **BEVEZETÉS**

Jelen kutatásban egy utólagosan hőszigetelt családi ház fűtési energiafelhasználását, továbbá fal- és födém szerkezeti kialakítását elemezzük. A vizsgált épületeket a 2013 tavaszán induló „Nálam szigetelnek” kampány keretében választották ki, mely során az elsődleges szempont az volt, hogy két hasonló paraméterekkel rendelkező, tájolású és szerkezetű épületet válasszanak. A program a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Épületszerkezettani Tanszékének felügyeletével zajlott, módszertani támogatója pedig a Magyar Energiahatékonysági Intézet volt. A vizsgálat – mely egy teljes fűtési idényre terjedt ki – 2013 nyarán vette kezdetét, melynek során a hajdúnánási épület homlokzati és födémhőszigetelést kapott. A másik, hajdúdorogi épület hőszigetelés nélkül vett részt a kísérletben, referenciaépületként. Az adatokat egy teljes fűtési idényen keresztül

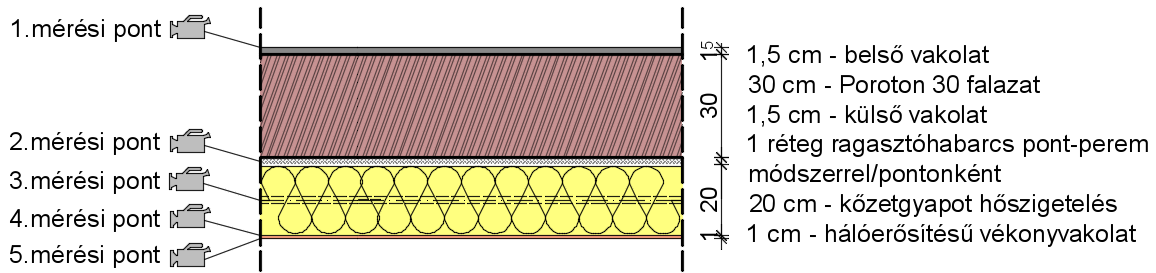
monitorozták. A kampány keretében gyűjtött adatokat 2017-ben a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszéken az Új Nemzeti Kiválóság Program támogatásával elemeztük ki. A hőszigetelés miatti energiamegtakarítás mellett vizsgáltuk többek között az eltérő rögzítési móddal készített homlokzati hőszigetelés hő- és nedvességtechnikai viselkedését [1], illetve a páraáteresztő fólia alkalmazásának hatását a födém utólagos hőszigetelése során [2]. Cikkünkben bemutatunk továbbá a monitoring mérések alapján készített egydimenziós időben változó épületszerkezeti numerikus hő- és nedvességtranszport, valamint teljes épületszimulációkat is.



**1. ábra Hajdúnánási családi ház homlokzati hőszigetelése**

### **SZERKEZETI MONITORING MÉRÉSEK**

A homlokzati hőszigetelő rendszer és födémhőszigetelés kivitelezésének minősége meghatározó lehet épületfizikai szempontból, így két változatot vizsgáltunk a kísérlet során: az felújított épület homlokzatának nagy részén a kőzetgyapot táblákat az ajánlott építéstechnológiát (pont-perem módszer) követve rögzítették, míg a dél-keleti homlokzat kb. 10 m<sup>2</sup>-es részén csak pontonkénti ragasztópogácsákat alkalmaztak. A monitoring mérésekhez a homlokzati fal belső felületére egy Omega HFS-3 típusú hőáramsűrűségmérő és a felületi hőmérséklet méréséhez K típusú termoelem került elhelyezésre. A rétegrenden belüli hőmérsékleteket és relatív nedvességtartalmakat (a továbbiakban RH) Sensirion SHT 75 típusú szenzorokkal rögzítették 2013.10.12. és 2014.05.20. között 4 perces intervallumokban. A falazat szerkezeti kialakítása és a monitoring rendszer elhelyezése a 2. és 3. ábrán látható.



**2. ábra Falazat szerkezeti kialakítása és monitoring pontok elhelyezkedése**

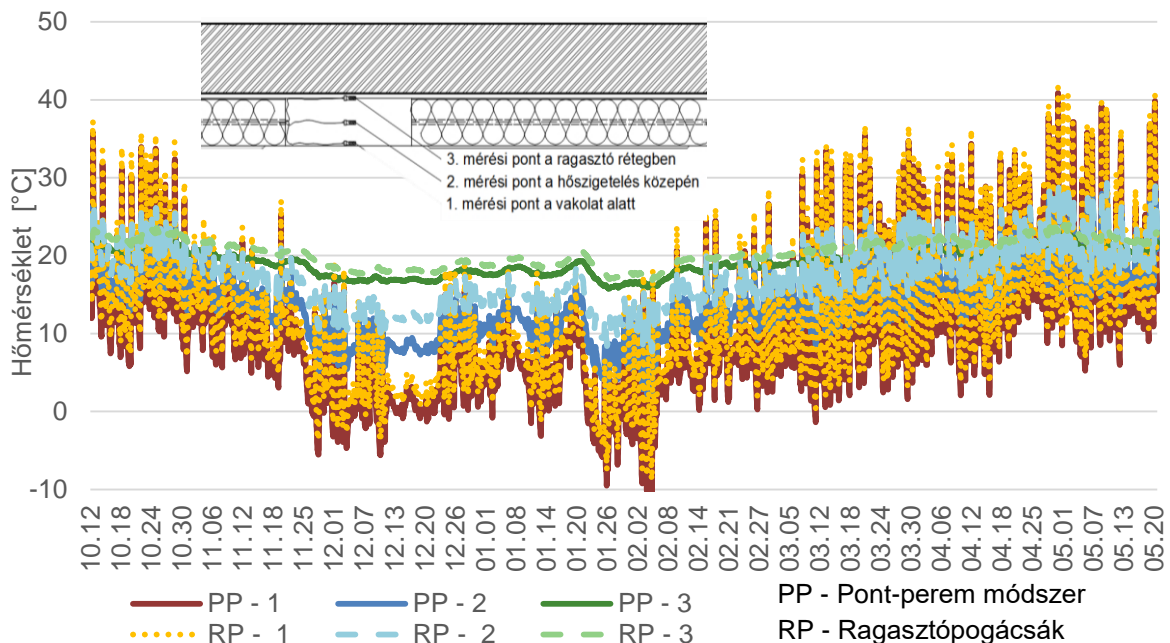


**3. ábra Szenzorok elhelyezése szerkezeti monitoring méréshez**

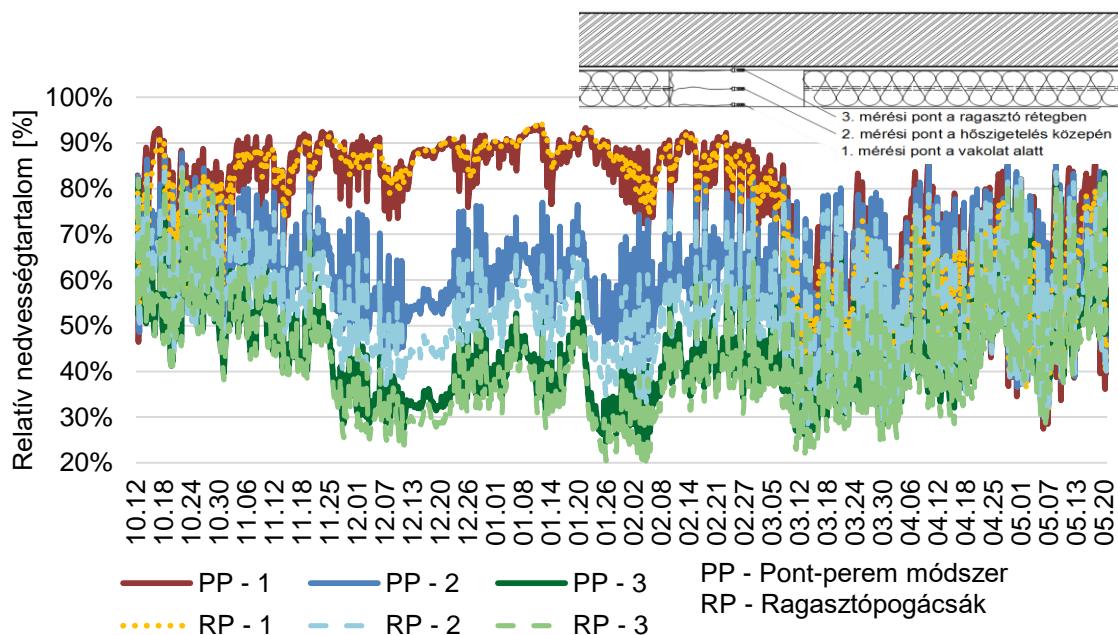
A szerkezeti monitoring méréseket elemezve a 4. ábra alapján megfigyelhető, hogy a csak ragasztópogácsákkal készített hőszigetelés hőmérséklete átlagosan 1 °C-kal volt magasabb. Ez azt igazolja, a pont-perem módszerrel készült homlokzati hőszigetelés épületfizikai szempontból előnyösebb megoldás, mivel így a falon keresztül kevesebb hőenergia tudott távozni a környezet felé. A hőmérsékletek közötti legnagyobb eltérés a 2. mérési pontban, a hőszigetelés közepén jelentkezett, itt átlagosan 3 °C-kal magasabb értéket rögzítettek a szenzorok a ragasztópogácsákkal történő rögzítési mód esetén.

A relatív nedvességtartalom értékei szintén a 2-es mérési pontban tértek el leginkább, ebben az esetben alacsonyabb értékeket kaptunk a ragasztópogácsákkal készült szerkezet esetében: 43% volt a relatív nedvességtartalom a pont-perem módszerrel ragasztott és 40,47% pogácsákkal rögzített hőszigetelés esetén. A többi mérési pont között lévő különbség nem számottevő. A módszerek közötti különbség részben származhat abból, hogy a ragasztópogácsákkal történő ragasztás esetében a hőszigetelés és a fal között lévő levegő hézag kis mértékben

szellőzhetett, illetve száradhatott, ezáltal alacsonyabb relatív nedvesség alakulhatott ki a mérési pontokban.



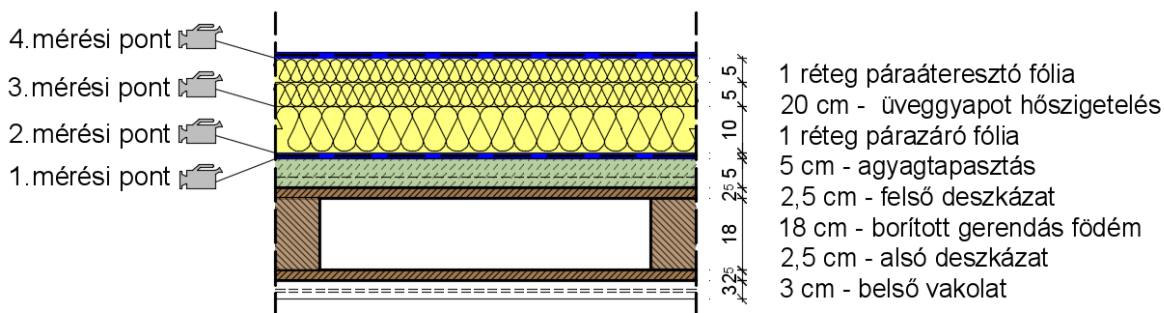
**4. ábra Hőmérséklet alakulása a monitoring pontokban (falazat)**



**5. ábra RH alakulása a monitoring pontokban (falazat)**

A padlásfödém esetében megvizsgáltuk, milyen hatással van a páraáteresztő fólia alkalmazása a hőszigetelésre, hogyan befolyásolja annak hő- és nedvességtechnikai viselkedését. A födém szerkezeti kialakítása és a monitoring pontok elhelyezése a 6. és 7. ábrán látható.



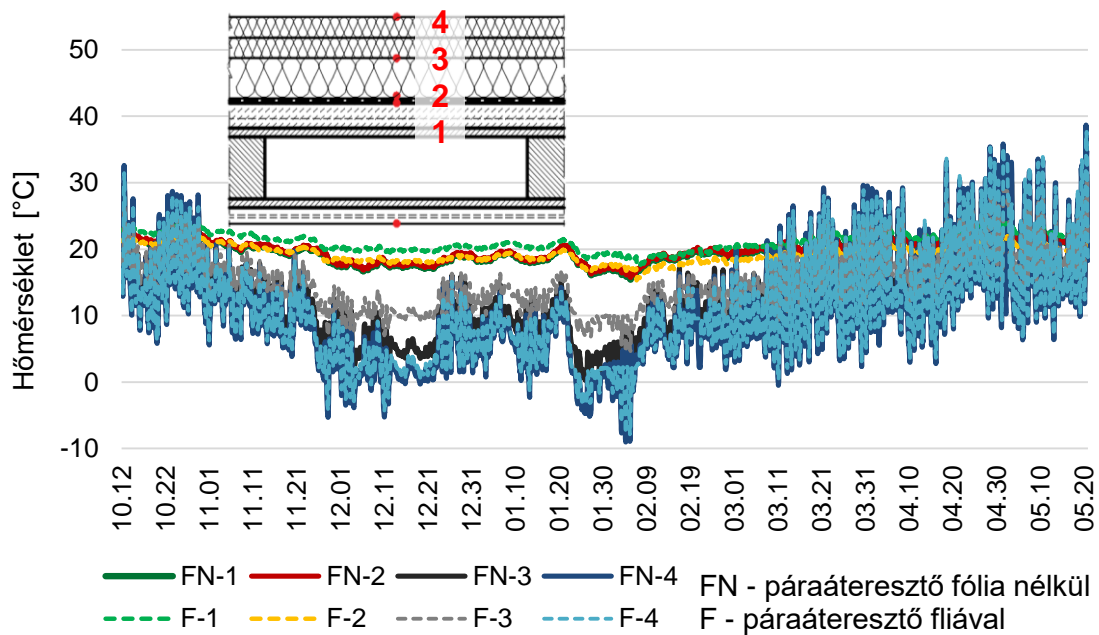


**6. ábra Födém szerkezeti kialakítása és monitoring pontok elhelyezkedése**

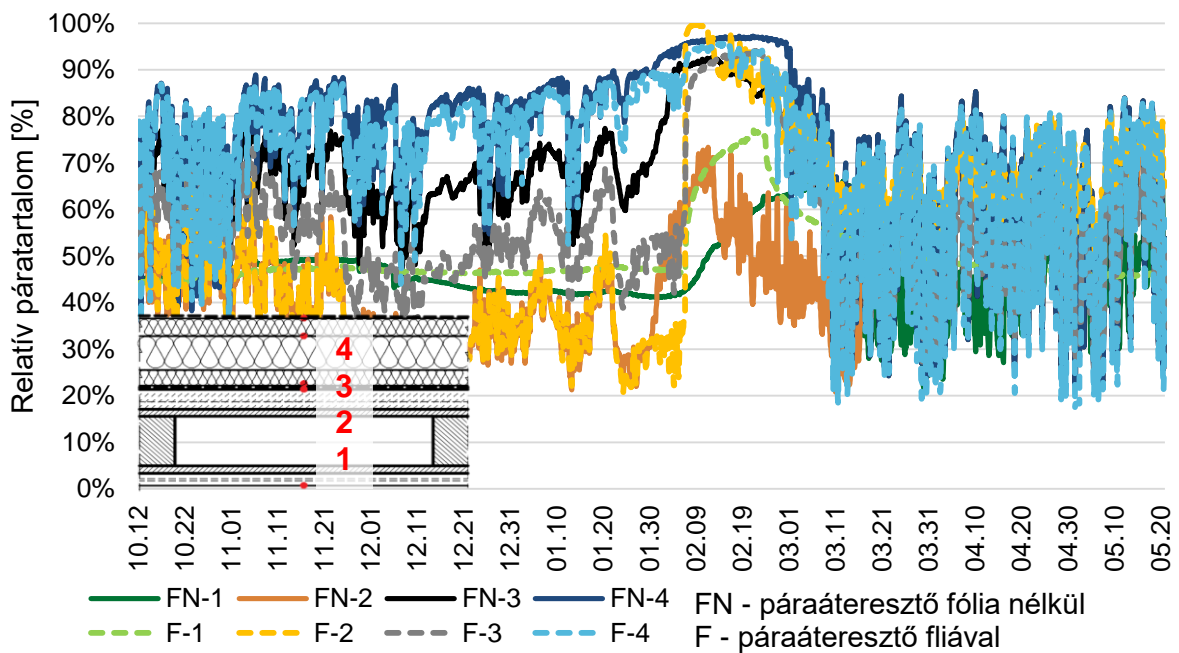


**7. ábra Födémhőszigetelés készítése és monitoring pontok elhelyezése**

A monitorozott időtartam alatt a hőmérséklet tekintetében nem jelentkezett szignifikáns különbség a rétegekben, átlagosan 0,5 °C eltérés volt a két szerkezeti kialakítás között. (lásd 8. ábra). Míg a relatív nedvességtartalom esetében nem várt eredményeket kaptunk, az első mérési pontban ~5%-kal magasabb értékeket mértünk, továbbá a 2. és 3. mérési pontban is jelentős különbségek adódtak. A 9. ábra alapján látható, hogy a páraáteresztő fóliával ellátott hőszigetelés relatív páratartalma esetén február elejéig a fólia nélküli szerkezethöz képest kisebb értékeket mértünk, majd február elején mind a két szerkezetben jelentősen megemelkedik a nedvességtartalom: viszonylag rövid idő alatt ~95%-os relatív páratartalom alakult ki a hőszigetelés belsejében. Fontos megemlíteni, hogy a ház tetőszerkezete tetőfólia nélkül készült, és a jelzett időszakban intenzív esőzések voltak, ezért feltételezhető, hogy a szerkezet beázott. A beázás következtében a páraáteresztő fóliával készült szerkezet esetében a fólia gátolta a hőszigetelés megfelelő kiszáradását, ezért mértünk magasabb értékeket.



**8. ábra Hőmérsékleteloszlás a monitoring pontokban (födém)**



**9. ábra RH alakulása a monitoring pontokban (födém)**

A vizsgált fal- és födém szerkezetek esetében kiszámítható a hőszigetelés korigált hővezetési tényezője a rétegek hőmérsékletének és nedvességtartalmának ismeretében. Az MSZ EN ISO 10456:2007 szabvány alapján a következő képlet segítségével számítható a korigált hővezetési tényező:

$$\lambda_2 = \lambda_1 \cdot e^{ft(T_2 - T_1)} \cdot e^{fu(U_2 - U_1)} \quad (1)$$

ahol

$\lambda_2$  - tervezett környezeti feltételek mellett figyelembe vehető hővezetési tényező

$\lambda_1$  – szabványos környezeti feltételek mellett deklarált hővezetési tényező

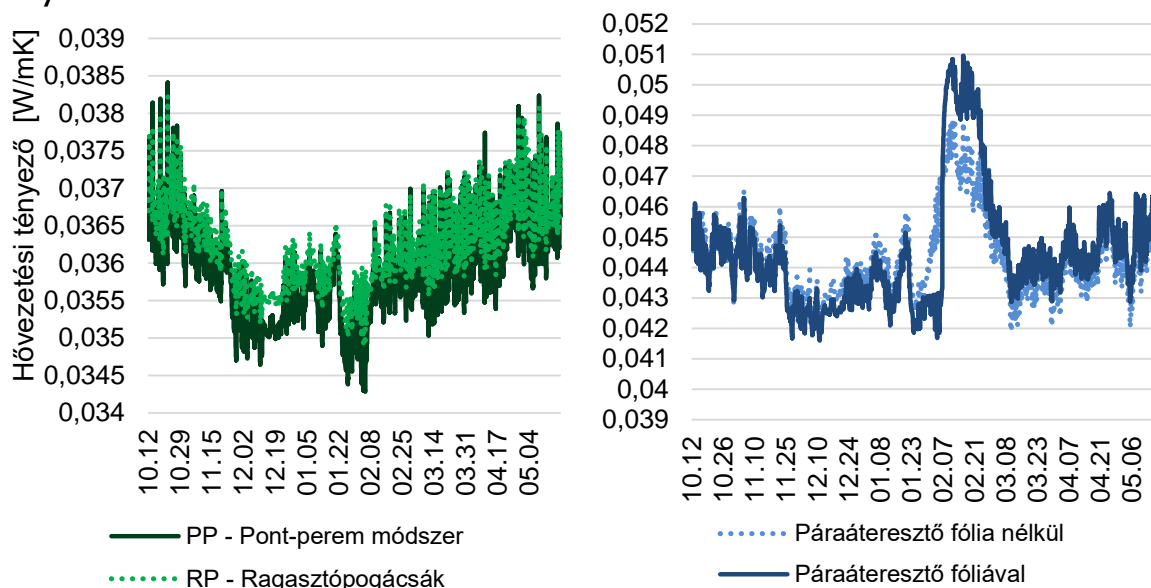
$f_T$  – hőmérséklet konverziós tényező

$T_2$  és  $T_1$  - tényleges és deklarált hőmérséklet

$f_u$  – páratartalom konverziós tényező

$U_2$  és  $U_1$  – tényleges és deklarált nedvességtartalom

A fentiek figyelembevételével a 10. ábrán láthatók a korrigált hővezetési tényezők értékének alakulása.



## 10. ábra Korrigált hővezetési tényezők MSZ EN ISO 10456:2007 alapján

Az eredmények feldolgozása után megfigyelhető, hogy míg a falszerkezetnél alkalmazott hőszigetelés esetében páratartalom konverziós tényező értéke közel azonos, addig a hőmérséklet konverziós tényezők értéke szignifikánsan eltér a két kivitelezési technológia esetében. Összességében a hőszigetelő rendszer „teljesítménye” a névleges értékhez viszonyítva pont-perem módszer esetén ~2%-kal, míg ragasztópogácsákkal való rögzítés esetén közel ~3%-kal volt rosszabb a mérés során. A hőszigetelő rendszer (hőszigetelés, ragasztó, vékonyvakolat) 0,039 W/mK tervezési értékét pont-perem módszer esetén 0,040 W/mK-re, míg ragasztópogácsákkal végzett kivitelezés esetén 0,041 W/mK-re kellett javítani.

A födémszerkezet esetében a szerkezetben lévő nagyobb nedvességtartalom magasabb hővezetési tényezőt eredményezett. Február 5. előtt a páraáteresztő fóliával készült szerkezet hővezetési tényezője volt alacsonyabb: mivel a szerkezetben alacsonyabb relatív páratartalmat mértünk, így annak nedvességtartalma is alacsonyabb volt. Az intenzív esőzések következtében viszont megfordult a tendencia: a hőszigetelő rétegek gyorsan felvették a nedvességet és a páraáteresztő fóliával készült rész kevésbé tudott kiszáradni a mérések végéig. Ezzel szemben a másik vizsgált páraáteresztő fólia nélküli szerkezet hatékonyabban ki tudott száradni, így alacsonyabb hővezetési tényezőt kaphattunk a beázást követő időszakban.

A számítások alapján az üvegyapot hővezetési tényezője annak hőmérséklete és nedvességtartalma alapján a vizsgált időszakban 0,041 W/mK és 0,051 W/mK közötti értékeket vett fel, míg deklarált, gyártó által katalógusban megadott értéke 0,039 W/mK. A mért értékek alapján a beépített hőszigetelések hővezetési tényezője tehát átlagosan 0,044 W/mK volt, ami 14%-kal magasabb az gyártó által katalógusban megadott deklarált értéknél.

## **ÉPÜLETSZERKEZETI SZIMULÁCIÓK**

A kutatás további részében elkészítettük a szerkezeti rétegrendek modelljét, mellyel elsődleges célunk volt, hogy a megfelelő anyagok kiválasztásával és az anyagtulajdonságok megfelelő beállításával modellezzük a mért, valós adatsorokat. A külső falazat és padlásfödém vizsgálatát dinamikus kapcsolt hő- és nedvességtranszport szimulációval végeztük el [4]. A WUFI Pro szoftver segítségével egydimenziós higrotermikus szimulációkat készítettünk a fal- és födémszerkezetre.

A szimulációhoz szükséges időjárásfájlhoz részben a használaton kívüli kéményen elhelyezett időjárásállomás adatait használtuk fel: az éves adatsor előállításához a meglévő adatokat generált időjárásértékekkel egészítettük ki. Célunk elsősorban az volt, hogy az input adatok megfelelő megválasztásával megmutassuk, az épületben történő folyamatok a valóságnak megfelelően előállíthatók, az eredmények segítségével további vizsgálatokat végezhetők.

A numerikus szimulációk során az építőanyagok anyagtulajdonságainak helyes megadása kulcskérdés. Az anyagtulajdonságok egy részét lehetséges helyszíni vizsgálatok segítségével, általában közvetett módon meghatározni (pl. a helyszínen mérhető hőátbocsátási tényezőből meghatározni a hővezetési tényezőt) [5], azonban a laboratóriumi vizsgálatok közvetlen mérések elvégzését teszik lehetővé, pontosabbak, és az összes szükséges anyagtulajdonság vizsgálatára kiterjednek [6].



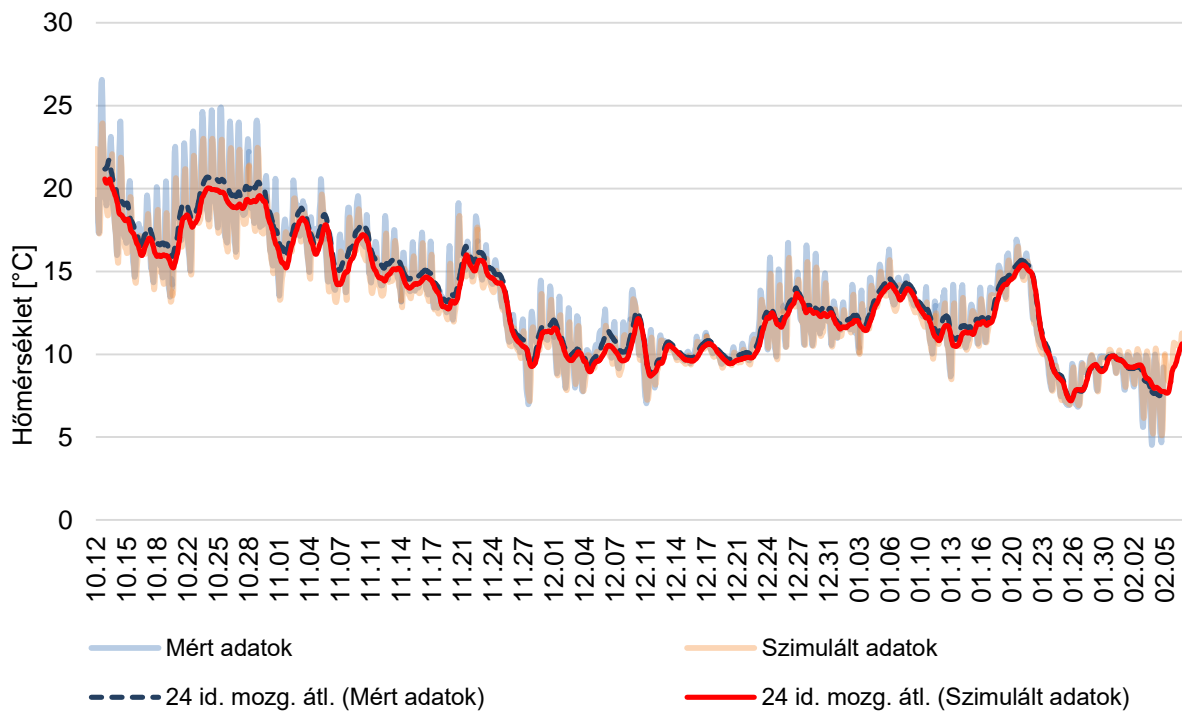
Jelen kutatásban az anyagtulajdonságokat a termékadatlapok alapján vettük fel, valamint már rendelkezésünkre álló anyagadatbázisokat alkalmaztunk, melyek az előforduló építőanyagok esetében tartalmazták a szükséges tulajdonságokat hőmérséklet és nedvességtartalom függvényében:

- testsűrűség,  $\rho$  [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
- fajlagos hőkapacitás,  $C_p$  [ $\text{J}/\text{kgK}$ ]
- hővezetési tényező,  $\lambda$ , [ $\text{W}/\text{mK}$ ]
- porozitás,  $p$  [%]
- adszorpció, deszorpció képesség (szorpció izoterma)
- páradiffúziós ellenállási szám,  $\mu$  [-]
- diffúziós (folyadéktranszport) tényező,  $D_{ws}$  [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]

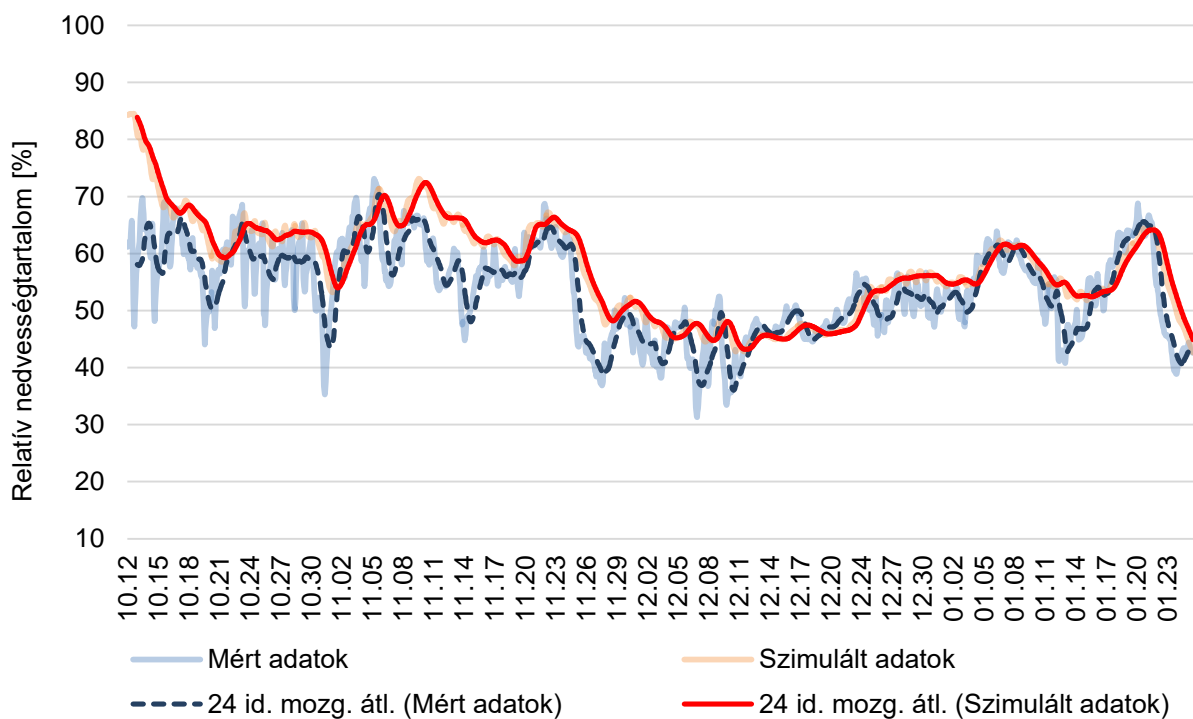
Az építőanyagok tulajdonságainak, továbbá a mérési eredmények alapján felvett külső és belső peremfeltételek beállításával készített szimulációkat összehasonlítottuk a rétegekben elhelyezett monitoring mérések eredményeivel. Az így elkészített validált modellek alkalmazásával a későbbiekben vizsgálhatók az eltérő építőanyagok, illetve más jellegű időjárások hatása is.

A falazat részeredményei a 11. és 12. ábrán láthatók: a szimulált, órai felbontású adatok minden időpillanatban változnak, így az egyszerűbb összehasonlítás érdekében jelöltük a szimulált adatsor 24 órás mozgóátlagát is, mely segítségével vizsgálható az egyezés az óránként átlagolt mérési eredmények és a szimulált értékek között. A szimulációk során sikerült közel azonos eredményeket elérnünk: a falazat esetében a hőszigetelés közepén, illetve a többi mérési pontban is megfelelő eredményeket kaptunk; a ragasztó rétegben a többi mérési ponthoz képest nagyobb eltérések tapasztalhatók, melynek oka részben az anyagtulajdonságok ismeretének hiánya, továbbá a ragasztás módszerének limitált modellezhetősége. A ragasztóréteg közötti légrésekben légmozgás alakulhatott ki, melyek szintén tovább nehezítették a pontos modellezést. A hőszigetelés közepén a hőmérsékletek esetében 2,5 %, míg a relatív nedvességtartalom értékeiben átlagosan 6%-os eltérés volt tapasztalható.

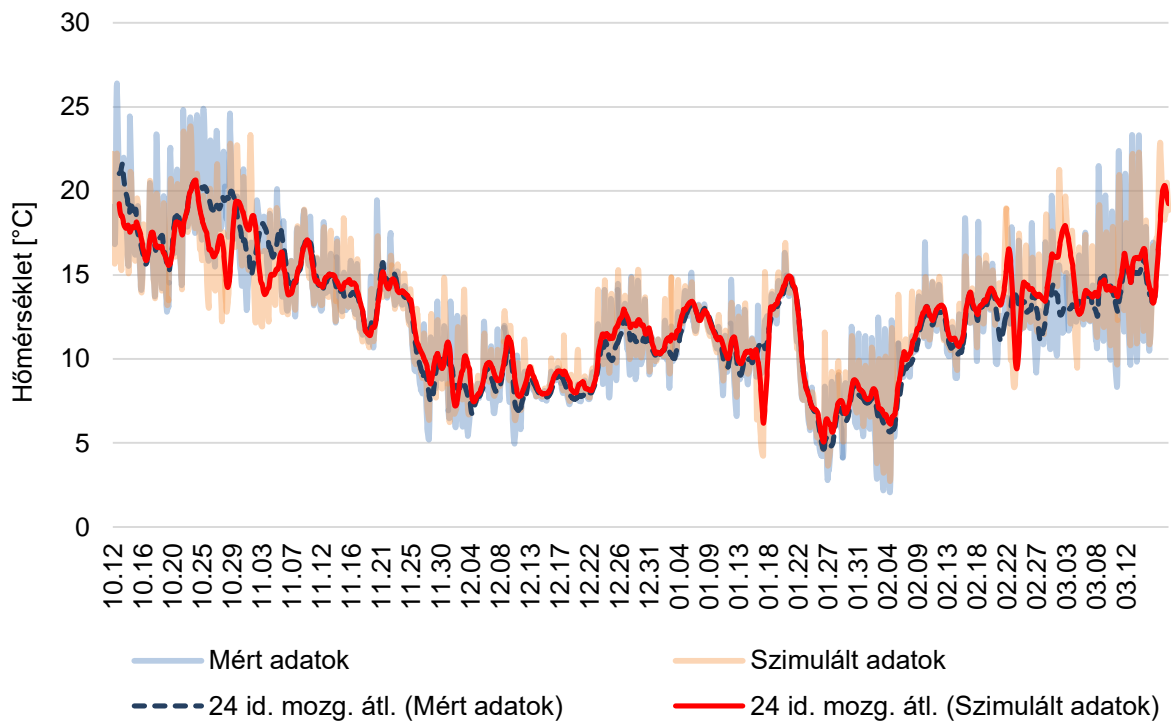
A tetőszerkezetenél (13-14. ábra) a hőmérsékletek tekintetében szintén megfelelő egyezést sikerült elérni, kisebb különbségek a relatív nedvességtartalom értékeiben vannak, melyek elsősorban a használt anyagok nedvességtechnikai tulajdonságainak pontatlan ismeretéből származnak. Az elkészített modellek lehetőséget adnak más anyagtulajdonságú hőszigetelések, ragasztóanyagok vizsgálatára.



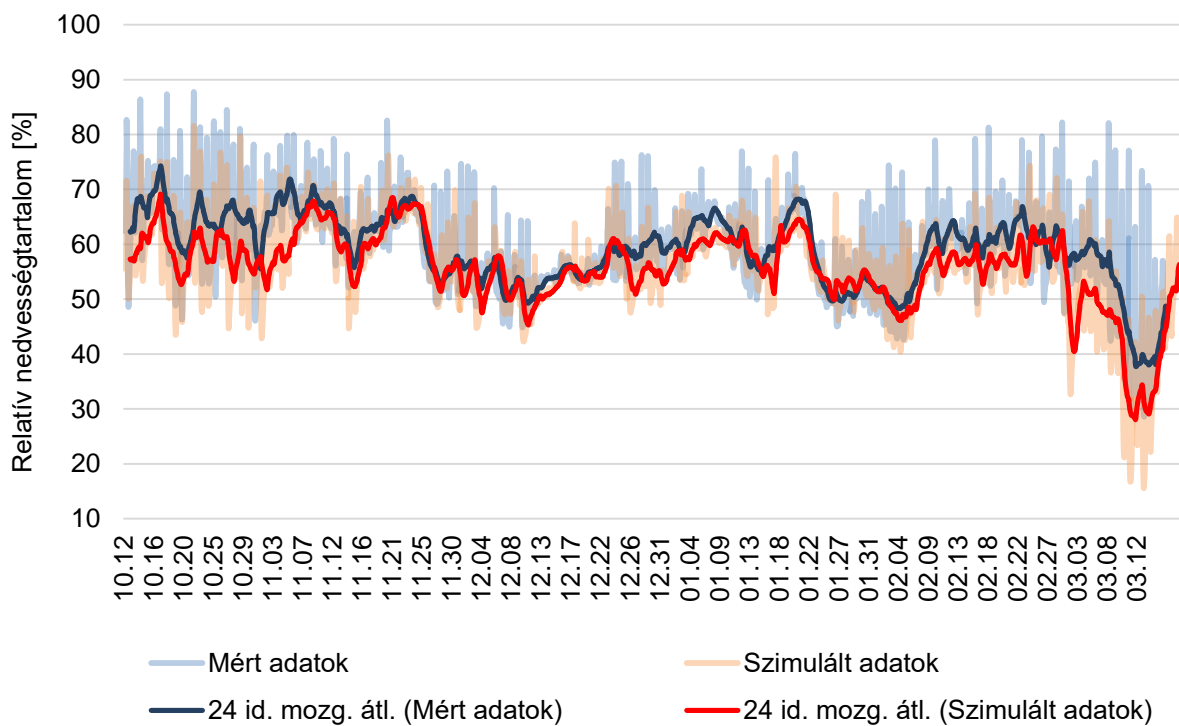
**11. ábra Szimulált és mért hőmérsékletek a földemen elhelyezett hőszigetelés közepén lévő pontban**



**12. ábra Szimulált és mért relatív nedvességtartalmak a földemen elhelyezett hőszigetelés közepén lévő pontban**



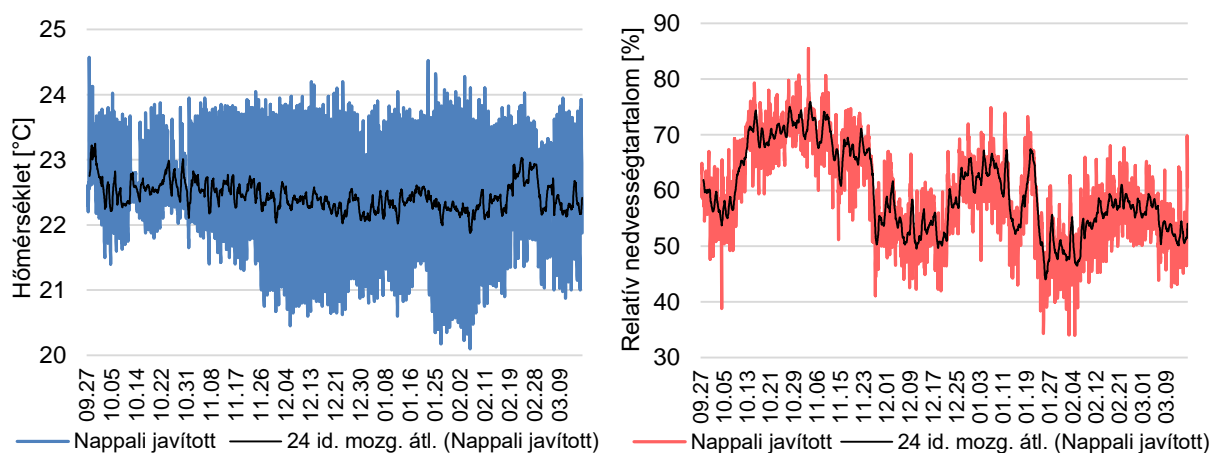
**13. ábra Szimulált és mért hőmérsékletek a falazaton elhelyezett hőszigetelés közepén lévő pontban**



**14. ábra Szimulált és mért relatív nedvességtartalmak a falazaton elhelyezett hőszigetelés közepén lévő pontban**

## TELJES ÉPÜLETSZIMULÁCIÓ

A kutatás további részében a teljes épületet is modelleztük: dinamikus szimulációt készítettünk optimalizált szellőztetéssel és a belső terhelések figyelembevételével. A kampány során az épületek felhasznált fűtési hőmennyisége is mérésre került 15 perces intervallumokban a hőszigetelt és a hőszigetelés nélküli épület esetében is, melyek közül cikkünkben a hőszigetelt épülettel foglalkozunk és ez esetben is a monitoring mérési eredményekhez hasonlítjuk a szimulációk eredményét. A modellezés során 4 főbb változatot készítettünk: egy- és többzónás kialakítással, illetve tervezési és szimulált belső feltételekkel. A többzónás kialakítás során csoportosítottuk az épületben található helyiségeket funkció szerint: gyerekszobák, háló, fürdő, nappali, konyha, kamra. A belső peremfeltételek felvétele több szempont szerint történt: a szobák belső hőmérséklete a helyszíni monitoring mérésekből ismert volt, melyből a szobák átlagos hőmérsékletét állítottuk be, mint tervezési feltétel. Az egyzónás esetben a hőmérséklet területarányosan került átlagolásra. A monitoring mérések során az adatsorok rögzítése közben előfordultak hibás mérési eredmények, hiányzó adatsorok, melyek javításra kerültek a mérések feldolgozása során. A 15. ábrán látható a hőszigetelt épület nappali helyiségének óránkénti javított hőmérsékleti és relatív nedvességtartalom értékei, illetve a 24 órás mozgóátlag. A nappali átlagos hőmérséklete a mért időtartam alatt 22,44 °C, míg a relatív nedvességtartalom értéke 59,73% volt.



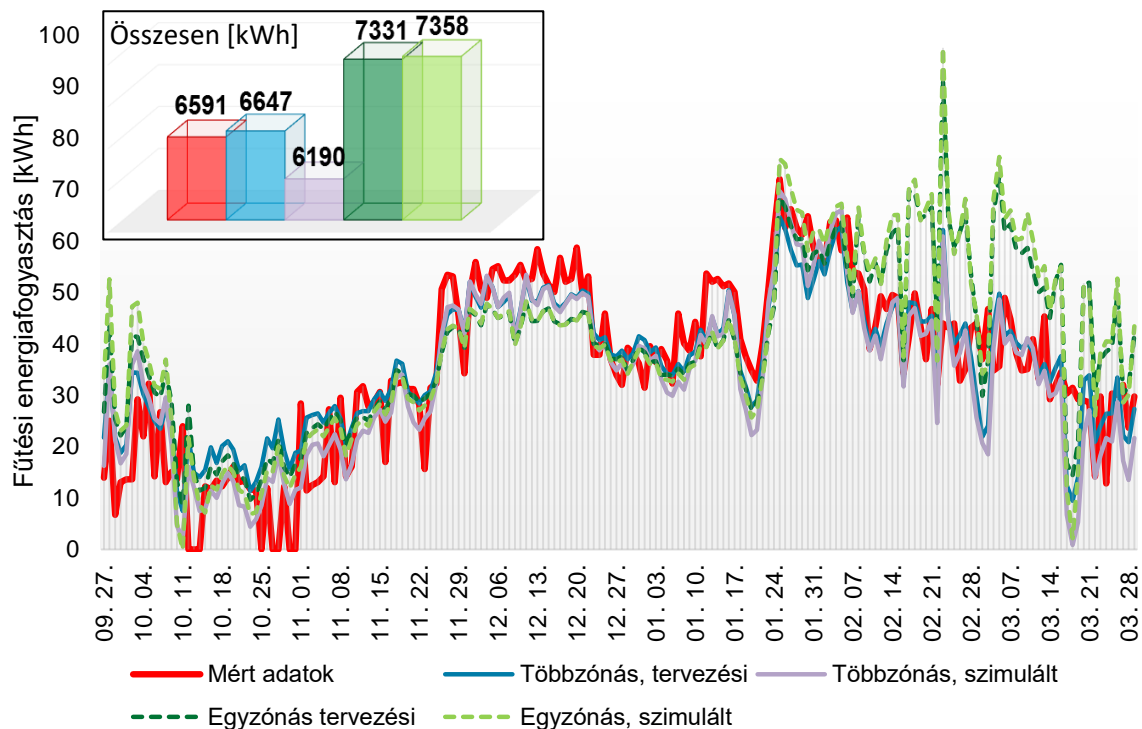
**15. ábra Hőmérséklet és relatív nedvességtartalom a hőszigetelt épület nappalijában a monitoring mérések alapján**

A belső terhelés esetében a programba épített terhelési profilokat használtuk fel a helyiség rendeltetésének megfelelően.

A 16. ábra alapján látható, hogy optimális szellőzés és belső nyereség beállításával megfelelően modellezhető az épület fűtési



energiafogyasztása. A legjobb közelítést a többzónás kialakítással és tervezési belső feltételekkel sikerült elérni. Látható, hogy egyzónás modell esetén a fűtési energiafogyasztás közel van a többzónás modell értékeihez a vizsgált időtartam elején, viszont február hónaptól nagyobb eltérés jelentkezik. Amennyiben szimulált belső feltételeket alkalmazunk (hőmérséklet, relatív páratartalom) úgy általában az energiafogyasztás is mérséklődik kissé mindkét kialakítás esetében, ugyanakkor ez az opció a futtatási időtartamot jelentősen megnöveli (a 20 perces átlagos futtatási idő 3 órára emelkedett). A hőszigetelt épület mért fűtési energiafogyasztása, a többzónás és tervezési feltételekkel beállított szimulációval volt leginkább modellezhető, ekkor 1%-on belül volt a differencia a két érték között a vizsgálati időtartam alatt.



**16. ábra Fűtési energiafogyasztás mért és szimulált értékei**

## ÖSSZEGZÉS

A kutatás során elemeztük egy utólagosan hőszigetelt családi ház fal - és födém szerkezet rétegeiben kialakuló hőmérséklet és relatív nedvességtartalom időbeli eloszlását. Az eredmények alapján kijelenthető, hogy a különböző építési technológiák eltérő hőmérsékleti és relatív nedvességtartalom értékeket eredményeztek a hőszigetelő rendszer rétegeiben: megállapítható, hogy a pont-perem módszerrel ragasztott kőzetgyapot hőszigetelés épületfizikai teljesítménye jobb, mint a csupán ragasztópogácsákkal rögzített megoldásé. A födém szerkezeti

kialakítások eredményei alapján kijelenthető, hogy a páraáteresztő fólia alkalmazása a födémen a hőszigetelés tetején épületfizikailag mindaddig kedvező, amíg a letakart szigetelést nem éri víz vagy túl magas relatív páratartalom a padlástérben. A fólia ez esetben áteresztheti a nedvességet a hőszigetelés felé, valamint a későbbiekben lassítja a nedves hőszigetelés kiszáradását is. A mérési eredmények ismeretében elkészítettük a szerkezetek validált modelljét, mely további vizsgálatok alapja lehet. Továbbá a teljes épületmodell segítségével megállapítottuk, hogy milyen kialakítás és peremfeltételek szükségesek a teljes épület energiafogyasztásának megfelelő modellezéséhez.

### IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Nagy Balázs, Szagri Dóra, Bakonyi Dániel: Családi ház ásványgyapot hőszigetelésű homlokzati falszerkezetének helyszíni monitoringon alapuló hő- és nedvességtechnikai elemzése, *ÉPÍTÉSI HIBÁK*, IV. évf. VIII. szám, 2-7. oldal, 2017
- [2] Nagy Balázs, Szagri Dóra, Bakonyi Dániel: Páraáteresztő fólia hatása a beépített ásványgyapot hőszigetelésű padlásfödémek épületfizikai viselkedésére, *ÉPÍTÉSI HIBÁK*, IV. évf. VIII. szám, 2-6. oldal, 2017
- [3] MSZ EN ISO 10456:2008 Építési anyagok és termékek. Hő- és nedvességtechnikai tulajdonságok. Táblázatos tervezési értékek, eljárások a minősítési és a tervezési hőtechnikai értékek meghatározására (ISO 10456:2007)
- [4] Nagy Balázs, Szagri Dóra, Tóth Elek: Dinamikus hő- és nedvességtranszport szimulációk alapjai, *MEGTÉRÜLŐ ÉPÜLETENERGETIKA*, IV. évf. I. szám, 33-39. oldal, 2017
- [5] Nagy Balázs: Építőanyagok vizsgálata dinamikus épületfizikai hő- és páratechnikai számításokhoz - helyszíni hőtechnikai mérések, *MŰSZAKI ELLENŐR*, IV. évf. XII. szám, 36-39. oldal, 2015
- [6] Nagy Balázs: Építőanyagok laboratóriumi vizsgálatai dinamikus épületfizikai hő- és páratechnikai számításokhoz, *MŰSZAKI ELLENŐR*, V. évf. II. szám, 34-39. oldal, 2016

### KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS



AZ EMBERI ERŐFORRÁSOK MINISZTERIUMA ÚNKP-17-3-III. KÓDSZÁMÚ ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG PROGRAMJÁNAK TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.