

Páraáteresztő fólia hatása a beépített ásványgyapot hőszigetelésű padlásfödémek épületfizikai viselkedésére

Jelen cikkünkben az előző publikációnkban bemutatott, ásványgyapottal hőszigetelt hajdúnánási családi ház (lásd: **1. ábra**) üveggypot padlásfödém hőszigetelésének egy teljes fűtési idényen keresztül tartó monitoring vizsgálati eredményeit elemezzük és mutatjuk be.

Bevezetés

2013-ban a Knauf Insulation magyarországi képviselője – mely hőszigetelések gyártásával és értékesítésével foglalkozik – új kampányt hirdetett „Nálam szigetelnek” néven [1]. A kampány célja a magántulajdonban lévő lakóépületek utólagos hőszigetelésének népszerűsítése volt, mellyel jelentős energiamegtakarítás érhető el. E projekt keretében vizsgáltuk többek között az eltérő rögzítési móddal (pogácsás, illetve pont-perem módszerrel) kialakított, utólagosan ásványgyapottal hőszigetelt homlokzati falazatok hő- és nedvességtechnikai viselkedését [2].

Mint sok más hasonló kialakítású családi ház esetében, a hajdúnánási családi ház esetén is a padlástér és lakótér közötti födém hőszigetelése a tetőszerkezet felújítása nélkül történt, azaz a cserepek alá nem került tetőfólia, ezért a nedvesség és a szél is be tudott jutni a padlástérbe. A padlásfödém utólagos hőszigetelését ezért két féle kialakítással készítettük el, és minkét kialakítást szerkezeti monitoring rendszerrel láttunk el a kutatás idejére (**2. ábra**). Természetesen nem csak a szerkezetekben, valamint a külső és belső felületeken helyeztünk el a hőmérséklet és a relatív páratartalom (relatív nedvességtartalom, RH) mérésére alkalmas szenzorokat, hanem az épület minden egyes helyiségében, valamint a padlásfödémekben is kialakítottunk mérési pontokat. A padlásfödém két vizsgált keresztmetszete esetén továbbá hőáramsűrűség-mérő szenzorokat is elhelyeztünk a födém belső felületére rögzítve (**3. ábra**).



1. ábra: Ásványgyapottal hőszigetelt hajdúnánási családi ház



2. ábra: Higrotermikus monitoring rendszer kialakítása a hajdúnánási hőszigetelt családi ház padlásfödémének hőszigetelésében



3. ábra: Higrotermikus monitoring rendszer kialakítása a hajdúnánási családi ház padlásfödéme alatt a belső térben

A padlásszigetelési megoldások egyik változata a gyártó által ajánlott megoldással történt, azaz páraáteresztő alátétfóliát helyeztünk el a hőszigetelésre. Viszont az egyik helyiség fölött elhagytuk a páraáteresztő fóliát, és így alakítottuk ki a másik vizsgált keresztmetszetet is. A kutatásunkban kíváncsiak voltunk, hogy a hőszigetelésre helyezett páraáteresztő fólia alkalmazása milyen védelmet jelent a hőszigetelés számára az anélkül kivitelezett változathoz képest, és a fólia hogy befolyásolja a szigetelőréteg hő- és nedvességttechnikai viselkedését, a beépített ásványgyapot hőszigetelés épületfizikai teljesítményét.

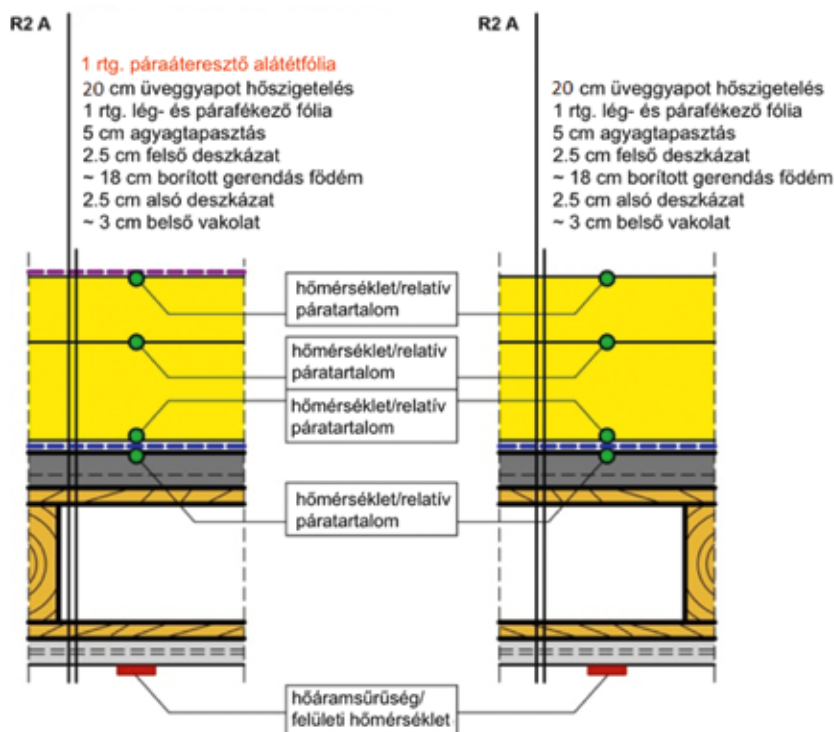
A kutatás során alkalmazott mérési és adatfeldolgozási módszerek

• Peremfeltételek mérése

A padlásfödém keresztmetszetek higrotermikus vizsgálatához, valamint a pillanatnyi hőátbocsátási tényezőök meghatározásához - a keresztmetszetekhez csatlakozó helyiségben mért belső hőmérsékletek és relatív páratartalmak ismeretén túl - a padlásfödém légállapotának ismeretére is szükségünk van. Ezen peremfeltételeket az épület minden helyiségében és a padlásfödémén is elhelyezett adatgyűjtők 15 percnként rögzítették. Megkértük továbbá az épületet használó családot, hogy a családi ház helyiségeiben, kiemelten a padlásfödémekhez kapcsolódó két helyiségben azonos fűtési és szellőztetési rutint kövessenek a projekt időtartama alatt. A monitoring rendszerrel mért értékek felhasználásával - az adatok ellenőrzését és tisztítását követően - óránkénti adatokból álló időjárásfájlokat készítettünk a további számításokhoz és kutatáshoz.

• Monitoring mérések a padlásfödémekben

A 4. ábrán láthatóak a kétféle padlásfödém-kialakítás rétegrendjei, és megjelöltük a rétegrendben elhelyezett szenzorokat is. A padlásfödém belső felületére a hőátbocsátási tényező meghatározásához egy-egy Omega HFS-3 típusú hőáramsűrűségmérőt és a felületi hőmérsékletek méréséhez egy-egy K típusú termoelemet rögzítettünk, 16-bites analóg-digitális átalakító alkalmazásával. A rétegrenden belüli hőmérsékleteket és relatív nedvességtartalmakat Sensirion SHT 75 típusú szenzorokkal mértük. A padlásfödém felőli hőszigetelés felületi hőmérsékletét szintén Sensirion SHT 75 típusú szenzorokkal vizsgáltuk.



4. ábra: A vizsgált padlásfödém szerkezeti kialakítása és elhelyezett szenzorok

• **Hőmérséklet és relatív nedvességtartalom adatok kiértékelése**

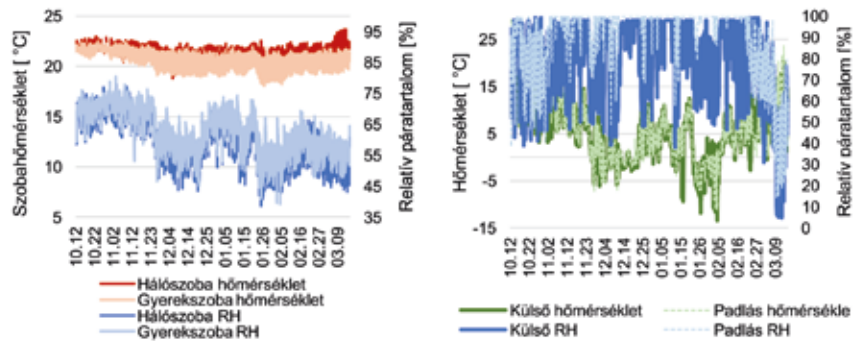
A hőszigetelt padlásfödémek rétegrendjében mért hőmérséklet és relatív nedvességtartalom értékek eloszlását, illetve a szerkezetek közötti különbségek alakulását háromdimenziós felületi térkép létrehozásával ábrázoltuk, a szerkezeti vastagság (0 pont a födém padlástér felőli részét jelöli), valamint az idő függvényében. A mért pontok közti értékeket Kriging interpoláció segítségével határoztuk meg, mely olyan geostatistikai módszer, ami azt feltételezi, hogy a mintavételi pontok közötti távolság és irányi térbeli korrelációt tükröz, mely a hőmérsékletes és nedvességtartalom-változás esetén az vizsgált időtartamban fennállt a monitorozott épületszerkezetek esetén.

• **Pillanatnyi hővezetési tényezők meghatározása**

Az egyes rétegrendekben szereplő anyagok hővezetési tényezőjének folyamatosan változó értékei meghatározhatóak voltak a kísérlet során állandóan mért hőmérséklet és nedvességtartalom értékek alapján. Az egyes rétegek átlagos hőmérséklete és nedvességtartalma alapján a réteghatárokon elhelyezett szenzorok által mért adatok átlagaként vettük figyelembe, míg a hőszigetelőrétegek esetén felhasználtuk a szigetelésben elhelyezett szenzorok adatait is. Minden réteg hővezetési tényezőjét az MSZ EN ISO 10456:2008 szabvány [3] szerint határoztuk meg a mérési értékek alapján, a következő összefüggés segítségével:

$$\lambda_2 = \lambda_1 \cdot F_T \cdot F_m \cdot F_a = \lambda_1 \cdot e^{f_T(T_2-T_1)} \cdot e^{f_u(U_2-U_1)} \cdot 1 \quad (1)$$

ahol λ_2 tervezett környezeti feltételek mellett figyelembe vehető hővezetési tényező, λ_1 hővezetési tényező deklarált értéke, F_T , F_m és F_a a hőmérséklet, nedvességtartalom és öregedés hatását leíró szorzótényező – az utóbbi esetében 1-et vettünk figyelembe. 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 páratartalom konverziós tényező esetében a relatív légnedvességtartalom és az anyag nedvességtartalma közötti kapcsolatot az adott anyagra vonatkozó ismert szorpciós izotermák segítségével lehet meghatározni, melyek megmutatják, hogy



5. ábra: Belső légállapot (hőmérséklet és RH) a hálószobában és a gyerekszobában; Külső és padlástéri légállapot (hőmérséklet és RH)

adott relatív légnedvességtartalom esetén mennyi nedvességet képes felvenni a vizsgált anyag. Ezeket a kiegészítő anyag tulajdonságokat gyártói adatok hiányában a hatályos MSZ 24140:2015 szabvány [4] alapján vettük fel.

• **Hőátbocsátási tényező számítása**

Állandósult körülmények között az U-értéket úgy határozhatjuk meg, hogy mérjük a szerkezeten átmenő hőáramot annak belső felületén, miközben párhuzamosan mérjük a szerkezet mindkét oldalán a léghőmérsékletet. Mivel állandósult állapot a gyakorlatban soha nem fordul elő hosszabb ideig, ezért többféle módszer áll rendelkezésünkre, hogy ezt a nehézséget kiküszöböljük. Ebben az esetben azt feltételeztük, hogy a hőáram illetve a hőmérsékletek hosszabb távú időintervallumban mért átlaga ad egy becslést az állandósult állapotra, azaz a mért hőátbocsátási tényező meghatározott feltételeket teljesítő értékeit átlagoltuk az ISO 9869-1:2014 nemzetközi szabvány szerint [5]. A módszer feltételezi, hogy az U-érték meghatározható a hőáramsűrűség és a hőmérsékletkülönbség hányadosaként:

$$U = \frac{\Sigma q}{\Sigma(T_i - T_e)} \quad (2)$$

ahol q a hőáramsűrűség, T_i belső léghőmérséklete, és T_e a külső léghőmérséklete. A módszer előnye, hogy a közvetlen hőárammérés végett nem kell megbecsülnünk a belső oldali hőátadási tényezőt, mivel a hőáramsűrűség szenzor közvetlenül W/m^2 -ben ad eredményt számunkra, a mért érték tartalmazza a vizsgált felületen jelentkező felületi ellenállás (mind a hőátadást, mind pedig a hőszugárzást) hatását.

A monitoring mérés eredményeinek értékelése

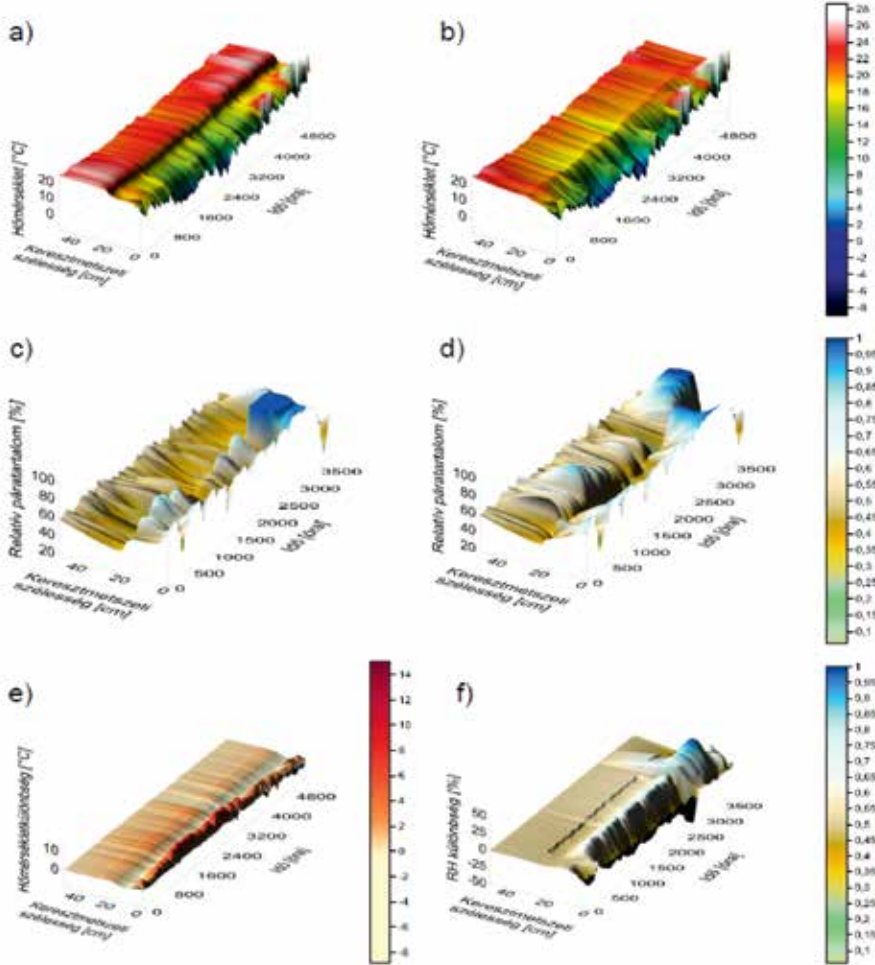
• **A helyiségek és padlástér légállapota**

A belső mérések azt mutatják, hogy a fűtési időszak alatt a hálószobában kis mértékben magasabb hőmérséklet és alacsonyabb relatív páratartalom volt, mint a gyermekszobában (lásd 5. ábra). A külső levegő és padlástér hőmérséklete közel azonosan alakult, viszont a relatív páratartalom a viszonylag zárt padlástérben általában magasabbnak bizonyult, mint a külső tér páratartalma. Meg kell említenünk továbbá, hogy a padlástérben a relatív páratartalom a külső térhez képest jelentősen megemelkedett február elején, és tartósan magas maradt. Ezt a jelenséget az akkor volt intenzív esőzésekkel, valamint a padlástérbe tartósan beszoruló magas páratartalmú levegővel magyarázhatjuk, melyek a hőszigetelés épületfizikai teljesítményére is jelentős befolyással lesznek.

Hőmérséklet és relatív nedvességtartalom a rétegrendekben

A 6. ábra a)–d)-ig mutatja a mért adatok alapján a Krigelés segítségével létrehozott háromdimenziós ábrákat, a hőmérséklet és relatív páratartalom eloszlását a padlástér fölé emelt keretmetszetében. Az e) és f) ábrán pedig láthatóak a hőmérséklet és relatív páratartalmak különbségei a szerkezetek között.

A padlástér fölé emelt páraáteresztő alátét-fóliával takart üvegyapot hőszigetelőrétegének átlagos hőmérséklete a teljes monitorozott, október 12. és május 20. közötti időszakban 16,11 °C-ra adódott, míg a relatív nedvességtartalom a hőszigetelésen belül átlagosan 56,89%-os volt. A legalacsonyabb hőmérséklet és RH 7,62 °C és 29,24%, míg a csúcserképek



6. ábra: Hőmérsékleteloszlás a szerkezetben a) páraáteresztő fóliával, b) páraáteresztő fólia nélkül; RH-eloszlás c) páraáteresztő fóliával, d) páraáteresztő fóliával; e) hőmérséklet és f) RH különbség a szerkezetek között

seben megnövekszik a nedvességtartalom. Ez a növekedés hamarabb indul be a fólia nélküli szigetelés esetén. Viszont a fóliával ellátott szigetelésnél lényegesen meredekebb a nedvességfelvétel, és rövid idő alatt közel 95%-os relatív páratartalom alakul ki a hőszigetelés belsejében. Ezután mindkét szigetelés száradni kezd, és március hónaptól kezdve a fólia nélküli szigetelésben a fóliával ellátott-hoz képest kicsit magasabbakat, illetve lényegesen alacsonyabb relatív páratartalmakat is mérhettünk. A két vizsgált födémszerkezet keresztmetszet hőmérséklete között is megfigyelhető eltérés. A fólia nélküli keresztmetszet hőszigetelő rétegének hőmérséklete a február elején bekövetkezett eseményig általában alacsonyabb, mint a fóliával ellátott szigetelésé. Azonban az esemény után a fóliatakarással el nem látott hőszigetelés hőmérséklete magasabb és alacsonyabb értékeket is felvett, mint a páraáteresztő fóliával takart szigetelés.

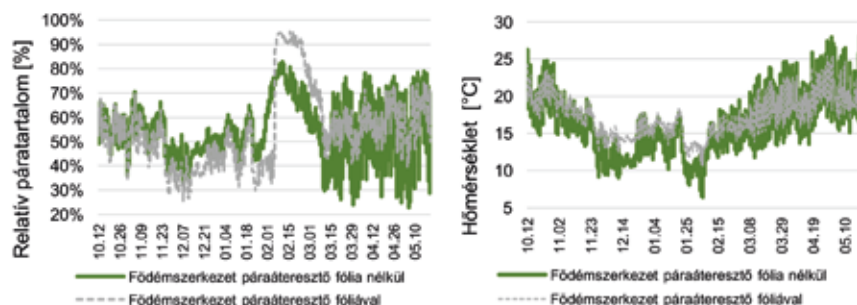
A 7. ábrán tehát megfigyelhető, hogy a relatív nedvességtartalom alacsonyabb február 5-ig abban az esetben, ha páraáteresztő fóliát alkalmazunk a szerkezetben. Ahogy korábban említettük, abban az időszakban intenzív esőzések voltak. Mivel a tetőszerkezet tetőfólia nélkül készült, így valószínű ez okozta, hogy a födém hőszigetelésébe nedvesség jutott, a padlástérben beázás történhetett. A páraáteresztő fólia a padlástérbe került csapadékvizet, illetve magas páratartalmú levegőt áteresztette. Az esőzések elmúltával azonban a fólia bizonyos mértékben gátolta a hőszigetelés teljes kiszáradását.

Padlásfödém hőszigetelésének hővezetési tényezője

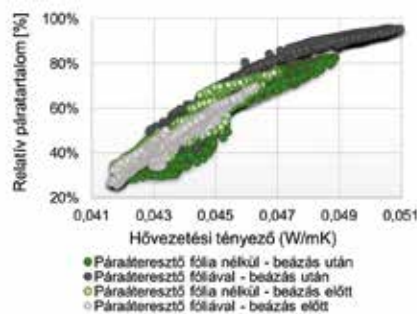
A 8. ábrán látható hővezetési tényezők megmutatják, hogy a szerkezetben lévő nagyobb nedvességtartalom magasabb hővezetési tényezőt okozott. Február 5. előtt a páraáteresztő fóliával készült szerkezetnek volt alacsonyabb a hővezetési tényezője, mivel a szerkezetben alacsonyabb relatív páratartalmat mérünk, így a nedvességtartalma is alacsonyabb volt. Az esőzések után a hőszigetelő réteg viszonylag gyorsan felvette a nedvességet, és mivel páraáteresztő fólia volt rajta, ezért nem tudott megfelelően kiszáradni a mérések végéig. A másik vizsgált szerkezet, páraáteresztő fólia nélkül, szintén gyorsan felvette a nedvességet, de hatékonyabban ki tudott száradni, így

27,59 °C és 94,76% voltak. A páraáteresztő fólia nélküli keresztmetszetben ezzel szemben a hőszigetelés átlagos hőmérséklete 13,47 °C volt, a relatív páratartalom a hőszigetelésen belül 60,58% volt. A legalacsonyabb hőmérséklet 0,27 °C, a legalacsonyabb relatív páratartalom pedig 26,66%-ra adódott. A legmagasabb hőmérséklet 32,18 °C, míg a relatív páratartalom csúcserőke 88,5% volt a vizsgált időszakban. A monitorozott időinter-

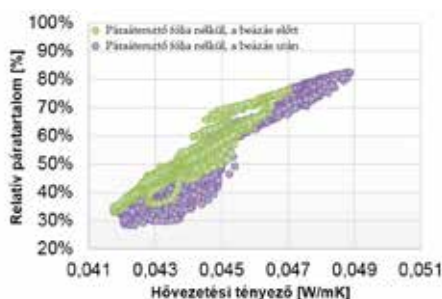
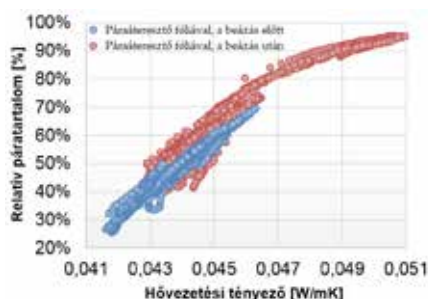
vallumban nem várt értékeket kaptunk, ezért megvizsgáltuk még részletesebben a hőszigetelőréteg szerkezeti monitoring eredményeit. A 7. ábrán a hőszigetelésen elhelyezett szenzor értékeit láthatjuk. Megfigyelhető, hogy a páraáteresztő fóliával ellátott hőszigetelés relatív páratartalma esetén február elejéig a fólia nélküli szerkezetnél kisebb értékeket mérhettünk, majd február hónap elején hirtelen mindkét rétegrend hőszigetelé-



7. ábra: Hőmérséklet és relatív páratartalom a szigetelés közepén



8. ábra: Hővezetési tényező, illetve a hővezetési tényező a relatív páratartalom függvényében a tetőszerkezet esetén



9. ábra: Hővezetési tényező, illetve a hővezetési tényező a relatív páratartalom függvényében a tetőszerkezet esetén

alacsonyabb hővezetési tényezőt érve el a nagy esőzést és beázást követő időszakban. A két vizsgált keresztmetszet beázás előtti és utáni relatív páratartalom és hővezetési tényező értékeit, azok kapcsolatát a **9. ábrán** mutatjuk be, melyen jól látható az előbbieken leírt jelenség. Látható, hogy az üvegyapot hővezetési tényezője annak hőmérséklete és nedvességtartalma alapján 0,041 W/mK és 0,051 W/mK közötti értékeket vett fel, míg deklarált, gyártó által katalógusban megadott értéke 0,039 W/mK volt. Az alkalmazott hőszigetelés hőmérséklet hatását leíró F_T szorzótényező átlagosan 1,0217-re, a nedvességtartalom miatti F_m szorzótényező átlagosan 1,1152-re adódott páraáteresztő fólia alkalmazásával, míg fólia nélkül a hőszigetelés F_T szorzótényezője átlagosan 1,0057-re, az F_m szorzótényezője pedig átlagosan 1,1335 volt. 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.

Hőátbocsátási tényező

A 2-es egyenlet segítségével a fűdészerkezetek hőátbocsátási tényezője kiszámítható, ezek az értékek pedig figyelembe veszik a változó peremfeltételeket, a réte-

gek hőmérsékletét, relatív nedvességtartalmának változását is. A padlásfödémre kapott átlagos hőátbocsátási tényező 0,19 W/m²K, ezzel szemben a tervezett fűdészerkezet „költségoptimalizált” követelményértéknek megfelelő 0,17 W/m²K volt.

Összegzés

A cikkben egy utólagosan hőszigetelt családi ház kétféle kialakítású üvegyapottal hőszigetelt padlásfödémének hő- és nedvességtechnikai mérési adatait elemeztük. Megvizsgáltuk a hőmérséklet és relatív nedvességtartalom eloszlását a páraáteresztő alátétfóliával ellátott és a fólia nélküli keresztmetszeteknek. Továbbá meghatároztuk a beépített hőszigetelőréteg hővezetési tényezőjét és hőmérséklet- illetve nedvességtartalom miatti szorzótényezőit, valamint a hőátbocsátási tényezőket két különböző szerkezeti kialakítás esetében. Az eredmények alapján kijelenthető, hogy a páraáteresztő fólia hatása látható mind a hőmérséklet, mind pedig a relatív páratartalom értékeket vizsgálva. A páraáteresztő fólia alkalmazása a fűdemen a hőszigetelés tetején épületfizikailag mindaddig hasznos, és kedvező a hőszigetelés teljesítményére nézve, amíg a letakart szigetelést nem éri víz vagy túl magas relatív páratartalom a padlástér-

ben. A fólia utóbbi esetekben áttereszti a nedvességet a hőszigetelés felé, valamint a későbbiekben lassítja a nedves hőszigetelés kiszáradását. Emiatt pedig a fóliával takart hőszigetelésnek magasabb hővezetési tényezőt eredményez, azaz kedvezőtlenebb hatást gyakorol, mintha nem készült volna fóliaborítás. ■

A publikáció az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-3-III kód-számú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült. Köszönjük továbbá a Knauf Insulation Kft.-nek az együttműködést.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] <http://www.nalamszigetelnek.hu>
- [2] Nagy B. – Szagri D. – Bakonyi D.: *Családi ház ásványgyapot hőszigetelésű homlokzati falszerkezetének helyszíni monitoringon alapuló hő- és nedvességtechnikai elemzése*, Építési Hibák IV. évf. VIII. szám (2017) 2-7.
- [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] MSZ 24140:2015 Épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításai
- [5] ISO 9869-1:2014 Thermal insulation – Building elements – In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance – Part 1: Heat flow meter method



Nagy Balázs

szerkezet-építőmérnök MSc, épületenergetikai szakmérnök, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék



Szagri Dóra

építőmérnök BSc, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék



Dr. Bakonyi Dániel

építészmérnök PhD, BME Épületszerkeztani Tanszék