

Páraáteresztő fólia hatása a beépített ásványgyapot hőszigetelésű padlásfödémek épületfizikai viselkedésére

Jelen cikkünkben az előző publikációnkban bemutatott, ásványgyapottal hőszigetelt hajdúnánási családi ház (lásd: **1. ábra**) üveggyapot 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: Hígrotermikus 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.

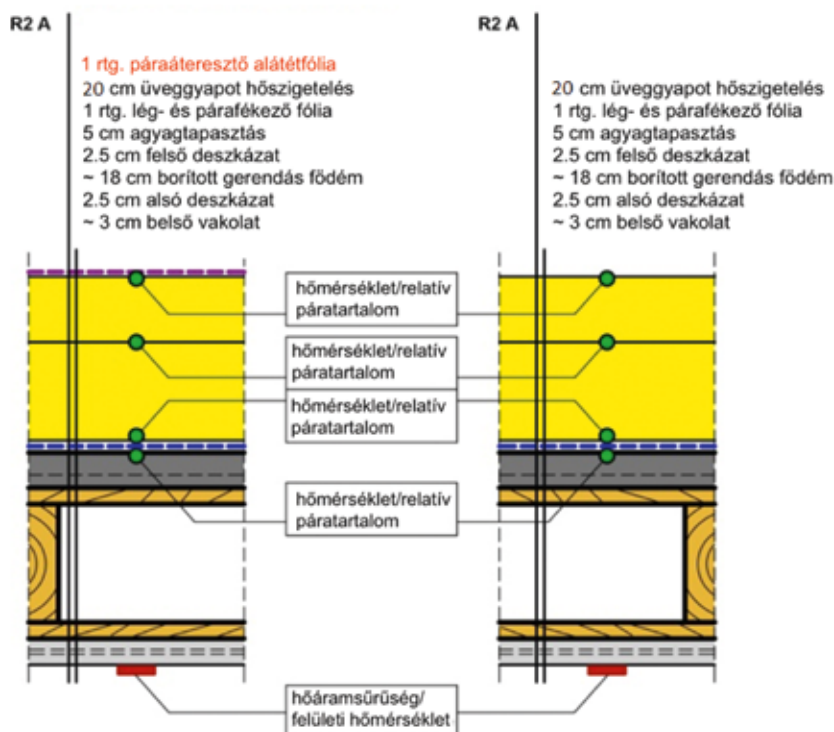
A kutatás során alkalmazott mérési és adatfeldolgozási módszerek

• Peremfeltételek mérése

A padlásfödém keresztmetszetek higrotermikus vizsgálatához, valamint a pillanatnyi hőátbocsátási tényezőkhöz 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

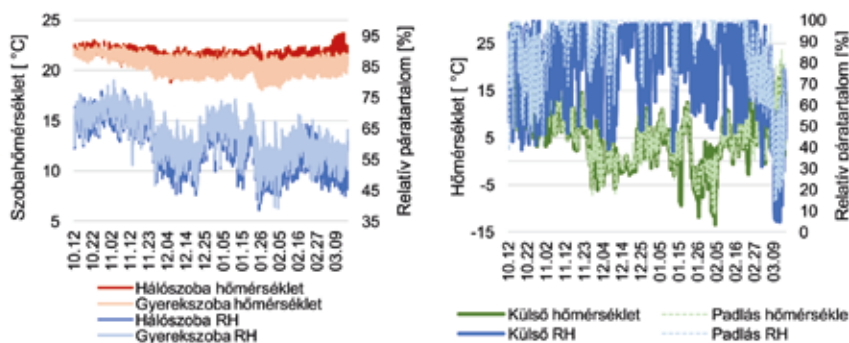
A hőszigetelt padlásfödémek rétegrendjében mért hőmérséklet és relatív nedvességtartalom értékek eloszlását, illetve a szerkezetek közötti különbségek alakulását háromdimenziós felületi térkép létrehozásával ábrázoltuk, a szerkezeti vastagság (0 pont a födém padlástér felőli részét jelöli), valamint 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 irány térbeli korrelációt tükröz, mely a hőmérséklet 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 hálósobában és a gyerekszobában; Külső és padlástéri légállapot (hőmérséklet és RH)

adott relatív légnedvességtartalom esetén mennyi nedvességet képes felvenni a vizsgált anyag. Ezeket a kiegészítő anyagtulajdonságokat 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 tényezők 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

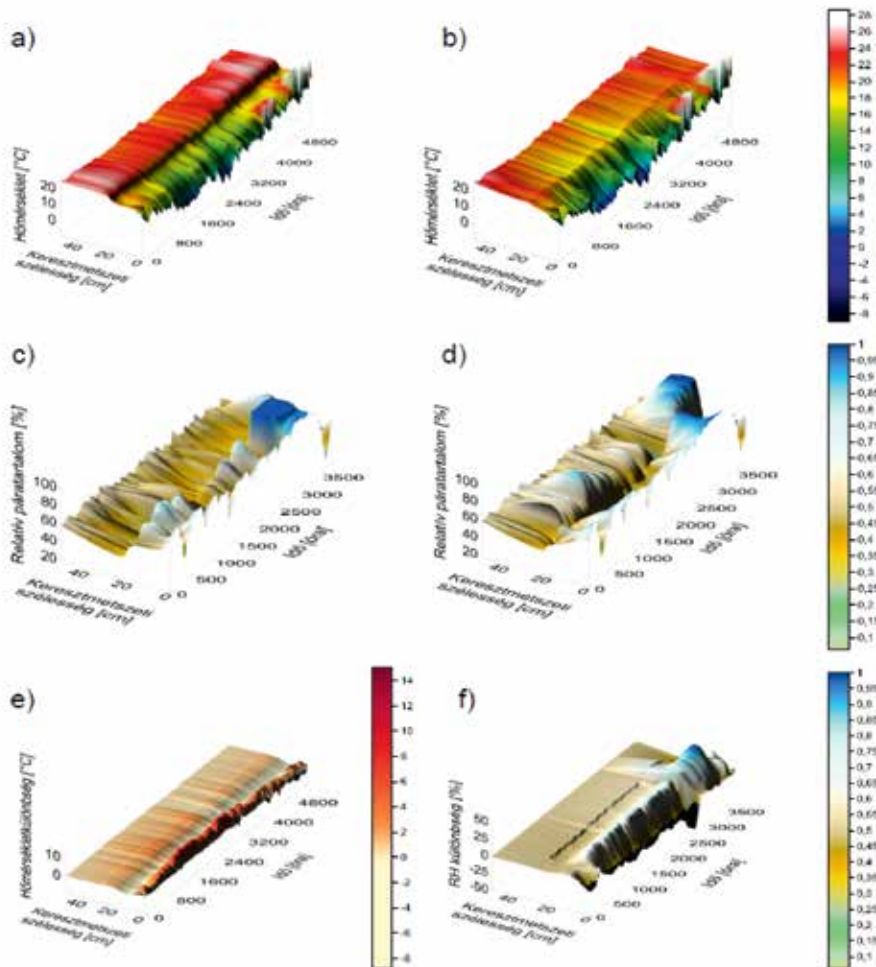
• A helyiségek és padlástér légállapota

A belső mérések azt mutatják, hogy a fűtési időszak alatt a hálósobában kis mértékben magasabb hőmérséklet és alacsonyabb relatív páratartalom volt, mint a gyerekszobában (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 rétegeinek keresztmetszetében. Az e) és f) ábrán pedig láthatóak a hőmérséklet és relatív páratartalmak különbségei a szerkezetek között.

A padlástér rétegeinek páraáteresztő alátét-fóliával takart üvegyapot hőszigetelőrétegének átlagos hőmérséklete a teljes monitorozott, október 12. és május 20. közötti időszakban $16,11^\circ\text{C}$ -ra adódott, míg a relatív nedvességtartalom a hőszigetelésen belül átlagosan 56,89%-os volt. A legalacsonyabb hőmérséklet és RH $7,62^\circ\text{C}$ és 29,24%, míg a csúcserkékek



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

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-

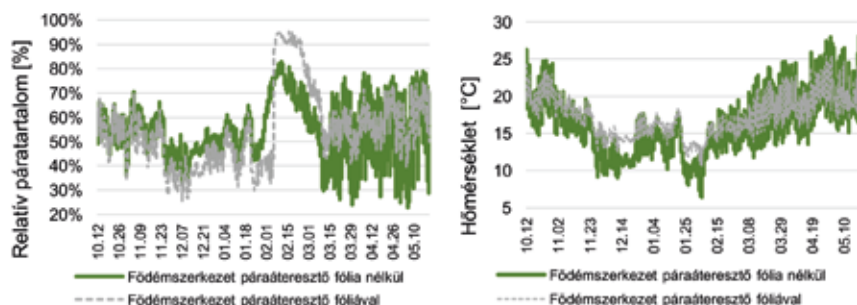
vallumban nem várt értékeket kaptunk, ezért megvizsgáltuk még részletesebben a hőszigetelőréteg szerkezeti monitoring eredményeit. A 7. ábrán a hőszigetelésben elhelyezett szenzor értékeit láthatjuk. Megfigyelhető, hogy a páraáteresztő fóliával ellátott hőszigetelés relatív páratartalma esetén február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

sében 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 ellátotthoz képest kicsit magasabbakat, illetve lényegesen alacsonyabb relatív páratartalmakat is mérhettünk. A két vizsgált födém szerkezet 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 tető szerkezet 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

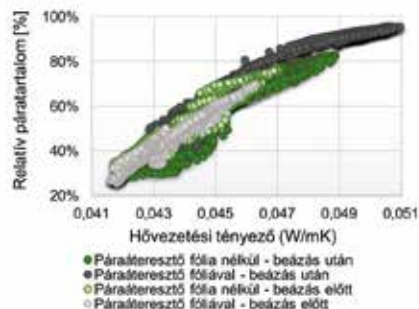
A 8. ábrán látható hővezetési tényezők megmutatják, hogy a szerkezetben lévő nagyobb nedvességtartalom magasabb hővezetési tényezőt okozott. Február 5. előtt a páraáteresztő fóliával készült szerkezetnek volt alacsonyabb a hővezetési tényezője, mivel a szerkezetben alacsonyabb relatív páratartalmat mérhettünk, 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



7. ábra: Hőmérséklet és relatív páratartalom a szigetelés közepén



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



ben. A fólia utóbbi esetekben áteresztí 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 nedvességttechnikai elemzése*, Építési Hibák IV. évf. VIII. szám (2017) 2-7.
- [3] MSZ EN ISO 10456:2008 Építési anyagok és termékek. Hő- és nedvességttechnikai 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

építésmérnök PhD,
BME Épületszerkeztani
Tanszék

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 előbbiekben 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 födémszerkezetek 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 födém szerkezet „kölségoptimalizált” követelményértéknek megfelelő 0,17 W/m²K volt.

Összegzés

A cikkben egy utólagosan hőszigetelt családi ház kétféle kialakítású üvegyapot-tal hőszigetelt padlásfödémének hő- és nedvességttechnikai 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 nedvességttartalom 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 födém 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-