

KOMPLEX CSOMÓPONTOK HŐENERGETIKAI ELEMZÉSE EGY ENERGIAHATÉKONY ISKOLAÉPÜLETNÉL

THERMAL BEHAVIOUR ANALYSIS OF COMPLEX JOINTS FOR AN ENERGY EFFICIENT SCHOOL BUILDING

Karda Szilárd,¹ Nagy-György Tamás,² Boros József³

Temesvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Temesvár, Románia

¹ szilard.karda@student.upt.ro

² tamas.nagy-gyorgy@upt.ro

³ iosif.boros@student.upt.ro

Abstract

Energy-efficient buildings have received increasing attention in recent times as they represent a direction that promotes the objectives of a sustainable, competitive and decarbonized energy policy. In order to meet the minimum requirements of the nearly zero-energy buildings (nZEB) the thermal characteristics of the envelope play an important role. The aim of the paper is to present and analyse the thermal behaviour of complex joints for an energy efficient school building, for which the formation of thermal bridges has been reduced by applying improved geometrical and technological solutions. Since most of the thermal bridge catalogues did not provide updated details for the studied joints, numerical calculations, as two-dimensional finite elements thermal simulations, were performed to determine thermal transmittance coefficients and the U-value.

Keywords: *energy efficiency, thermal bridges, complex joints, thermal transmittance coefficient.*

Összefoglalás

Az energiahatékony épületek fokozott figyelmet élveznek az utóbbi időben, mivel olyan irányt képviselnek, ami elősegíti a fenntartható, versenyképes és dekarbonizált energiapolitika célkitűzéseit. Annak érdekében, hogy az épületek megfeleljenek a közel nulla energiaigényű létesítmények minimumkövetelményeinek, fontos szerepet kapnak a térelhatároló elemek hőtechnikai jellemzői. A dolgozat célja, hogy bemutassa és elemezze egy energiahatékony iskolaépület azon komplex csomópontok hőenergetikai viselkedését, amelyek esetében különböző geometriai és technológiai megoldásokat alkalmazva csökkent a hőhidak kialakulásának lehetősége. Mivel a jelenlegi hőhídkatalógusok túlnyomó része nem szolgált naprakész adatokkal a tanulmányozott csomópontok számára, numerikus számításokra és kétdimenziós végeselem-szimulációra volt szükség a hőátbocsátási tényezők meghatározására.

Kulcsszavak: *energiahatékony, hőhidak, komplex csomópontok, hőátbocsátási tényező.*

1. Bevezetés

Az energiafogyasztás kérdése fokozott figyelmet élvezett az utóbbi évtizedekben az Európai Unió számára. Az Unió vezetői 2007-ben azt a célt tűzték ki, hogy 2020-ig 20%-kal csökkentik az EU éves energiaszükségletét, és ezt a cselekvési irányvonalat folytatva a tagállamok 2030-ra 32,5%-os

viSSzaesést érjenek el. Az energiahatékonyági intézkedések nem csupán az üvegházhatású gázki-bocsátások csökkenésének, illetve a fenntartható energiaellátás megvalósításának eszközei, hanem az államok versenyképességének fokozásában is fontos szerepet kapnak [1], ezért ezen cselekvési terv stratégia prioritás az Európai Unió számá-

ra. Jelenleg az épületek az energia-végfogyasztás 40%-áért és a széndioxid-kibocsátás 36%-áért felelősek, ezért az új és meglévő épületek energia-teljesítményének növelése érdekében a 2010/31 EU-irányelv számos előírást tartalmaz, melyek közül fontos kiemelni a közel nulla energiaigényű épületeket (a továbbiakban KNE).

A KNE-épületek magas energiahatékonysággal rendelkező létesítmények, melyekben a felhasznált közel nulla vagy nagyon alacsony mennyiségű energia legalább 30%-a megújuló forrásokból kell származzon [2]. A hatályos jogi keretek alapvető követelményei közé tartozik, hogy Romániában minden új épület, melynek használatbavétele 2020. december 31. után kiállított építkezési engedély alapján történik, közel nulla energiaigényű épület kell legyen [3].

Romániában az épületek átlagos primer energiafogyasztása megközelítőleg 250 kWh/m²év, ami 25%-kal nagyobb az EU középértékéhez képest, köszönhetően az épületek elavult és alacsony hatásfokának. A KNE-épületek számára meghatározott primerenergia-fogyasztás 100-185 kWh/m²év közötti értéket vehet fel. Az energiahatékonyságot jelentős mértékben befolyásolják az épületelemek hőtechnikai jellemzői, az épület elhelyezése és tájolása, a fűtési és a légkondicionáló rendszerek, a természetes és gépi szellőztetés, a beépített világítóberendezések, a passzív napenergia-hasznosító rendszerek és az árnyékolás, a beltéri klimatikus körülmények, illetve a belső hőterhelések [4].

Jelen dolgozat egy oktatási épület térelhatároló szerkezetének csomópontjait vizsgálja, amelyek megoldásként szolgálhatnak a hőhidak csökkentése érdekében. Mivel az épületek energiafogyasztásának több mint 50%-át a fűtéshez szükséges energia teszi ki, az energiahatékonyság növelése érdekében ez az arány jelentősen visszaeshet, ha megfelelő hőszigeteléssel rendelkeznek az épületek térelhatároló szerkezetek és a lehető legkevesebb olyan zóna létezik, ahol hőhidak alakulhatnak ki. Nagyobb figyelmet fektetve a csomópontoknál lehetséges hőhidakra, optimalizálni lehet a szerkezetek hőátbocsátási tényezőit és a fajlagos hővesztésüket.

2. Közel nulla energiaigényű iskolaépület

A nagyszalontai Arany János Elméleti Líceum új épületszárnya 2017-ben került átadásra és Románia első közel nulla energiaigényű oktatási épületének számít, amely megfelel a passzív házak által előírt követelményeknek is. A 3496 m² hasznos alapterülettel rendelkező épület vasbe-

ton teherhordó keretszerkezete egy gerendarács alapon fekszik. A szerelő aljzatbeton alatt 20 cm XPS hőszigetelés található, az oldalsó térelhatároló elemeket 25 cm vastag pórusbeton falazat és 15 cm kőzetgyapot alkotja, a nyílászárók 6 kamrás műanyag ablakszerkezetből és 3 rétegű üvegszerkezetből állnak, a fűtetlen padlás alatti vasbeton födém hőszigetelése pedig 25 cm kőzetgyapattal valósult meg.

A csomópontok vizsgálata stacioner állapotban történik. A numerikus szimulációhoz szükséges meghatározni a szerkezet geometriáját, a geometriát alkotó anyagok hőkapacitását, hővezetési tényezőjét, testsűrűségét, illetve a külső és belső peremfeltételeket [5].

A külső hőmérséklet méretezési értéke az ország éghajlati övezete függvényében határozható meg. Nagyszalonta a második éghajlati övezetben helyezkedik el, tehát a méretezési külső hőmérséklet -15 °C. Az épület belső hőmérséklete +18 °C, melyet a helyiségek rendeltetése számára előírt hőmérsékletek súlyozott átlagából lehet kiszámítani. A padlástér hőmérsékletét a méretezési külső hőmérséklet, az előírt belső hőmérséklet, illetve a térelhatároló elemek eredő hővezetési ellenállása határozza meg. Az így kapott helyiség-hőmérséklet a fűtetlen térben -11,35 °C.

A külső légköri állapot statisztikai átlaga szerint a páratartalom 70%-os, míg a belső léghőmérséklethez 60%-os páratartalom van meghatározva. A számításoknál alkalmazott külső és belső oldali felületi hőátadási ellenállás sorrendben 25 W/m²K és 8 W/m²K.

3. A hőhidak és hőátbocsátási tényezők számítása

A hőátbocsátási tényező, vagyis az U érték egy felület hőszigetelésének a jellemzője, amely kifejezi, hogy egy adott szerkezet egységnyi területén, egységnyi hőmérséklet hatására mekkora hőáram halad át. A térelhatároló szerkezet tényleges hőátbocsátását azonban különféle ismétlődő vonalmenti, illetve pontszerű inhomogenitások befolyásolják [6], ezért a rétegtervi U' érték az alábbi képlet alapján számítható ki (1):

$$U' = \frac{1}{R_{si} + \sum_i \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se}} + \frac{\sum(\psi \cdot l)}{A} + \frac{\sum Z}{A} \left[\frac{W}{m^2 K} \right] \quad (1)$$

ahol

- R_{se} és R_{si} - a külső és belső oldali felületi hőátadási ellenállás [m²K/W];
- d_i - a szerkezeti rétegtrend vastagsága [m];

- λ_i – a szerkezeti rétegrend hővezetési tényezője [W/mK];
- l – a vonalmenti hőhid hossza [m];
- ψ – a hőhid vonalmenti hőátbocsátási tényezője [W/mK];
- A – a határoló elem felülete [m²];
- χ – a hőhid pontszerű hőátbocsátási tényezője.

A hőhidak a határolószerkezetek azon zónáin találhatóak, ahol többdimenziós hőáramlás és hőmérséklet-eloszlás alakul ki, köszönhetően az eltérő vastagságú és hővezetési rétegeknek, illetve a különböző külső és belső dimenzióknak [7]. A hőhidak a vonalmenti és pontszerű hővesztések mellett hőkomfort, illetve épület-szerkezettani problémákat okozhatnak, ezért a redukálásuk esszenciális fontosságú. A hőhidakat mértékét a vonalmenti (2), illetve a pontszerű hőátbocsátási tényezők (3) határozzák meg.

$$\psi = \frac{L_{2D} - \sum U \cdot A}{l} [W / mK] \quad (2)$$

$$\chi = \frac{\Phi}{\Delta T} - U \cdot A [W / K] \quad (3)$$

ahol

- L_{2D} – hőhidtényező a kétdimenziós számításokból [W/mK];
- U – a kezdeti hőátbocsátási tényező [W/m²K];
- Φ – a pontban kialakult hőáram [W];
- ΔT – a kültéri és beltéri hőmérséklet-különbség [°C].

A csomópontok hőtechnikai szimulációja a HT-flux végeselem-programmal történt [8], amely során meghatározásra kerültek a hőhidtényezők, a hőáramok, a hőáramsűrűségek, illetve a hőmérséklet-eloszlás.

3.1. Padlásfödém

Az épület fűtött és fűtetlen terét elválasztó padlásfödém hőszigetelő szerkezete egy 15, illetve 10 cm vastag kőzetgyapot lemezből áll, melynek a hőátbocsátási tényezője a rétegrendek szerint 0,150 W/m²K (1. táblázat). A fűtetlen légteret egy

1. táblázat. A padlásfödém hőátbocsátási tényezője

Rétegsorrend	λ [W/mK]	Vastagság [cm]
Kőzetgyapot	0,039	25
Párafékező fólia	0,290	0,2
Vasbeton födém	1,740	13
Beltéri vakolat	0,930	1,5
U-érték [W/m ² K]		0,150

nyeregterető zárja be, melynek a tartóelemei a vasbeton gerendás födémén támaszkodnak, ezáltal a székoszlop és papucsfa zónájában változik a hőszigetelés vastagsága, illetve a folytonossága, ezáltal módosítva az egységnyi felületre eső hőáramot.

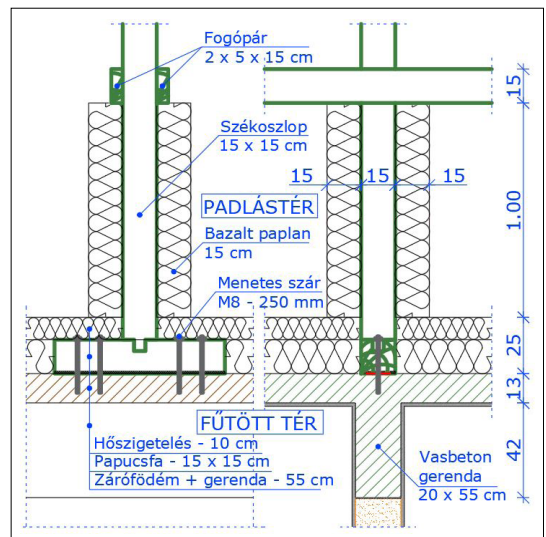
A székoszlopoknál kialakuló pontszerű és vonalmenti hőhidak redukálása érdekében a papucsfa sávjában megmaradt a hőszigetelés második, 10 cm vastag kőzetgyapot lemeze, a székoszlop pedig egy 15 cm vastag bazalt paplannal lett betakarva a fogópár aljáig (1. ábra).

A papucsfák rögzítéséhez használt menetes száruk esetében pontszerű hőhidak alakulnak ki, melyeknek a számbavétele egy precízebb hőátbocsátási tényezőhöz vezet.

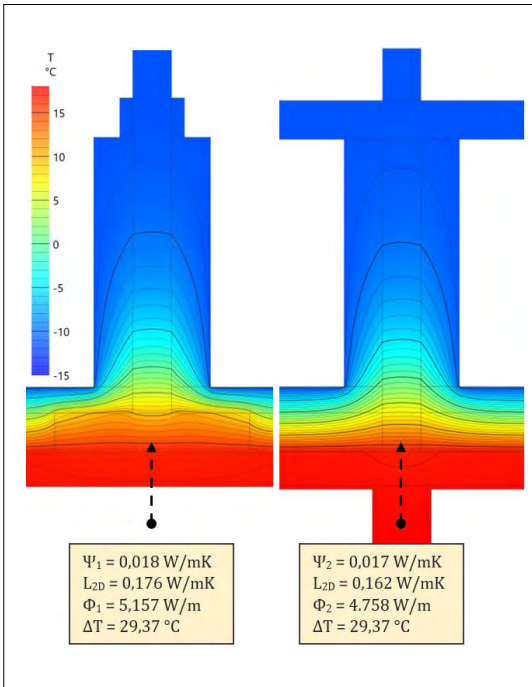
A végeselem-modellezés során a papucsfák sávjában a hőáram értéke 4,758 W/m, a kültéri és beltéri hőmérséklet-különbség 29,37 °C. Meghatározva a hőhidtényezőt (L_{2D}), a papucsfa alatti vonalmenti hőátbocsátási tényező értéke 0,017 W/mK (2. ábra).

A passzívházak tervezésénél azokat a csomópontokat nevezik „hőhidmentes kialakításnak”, amelyeknél a vonalmenti hőátbocsátási tényező értéke 0,01 W/mK alatt van [9].

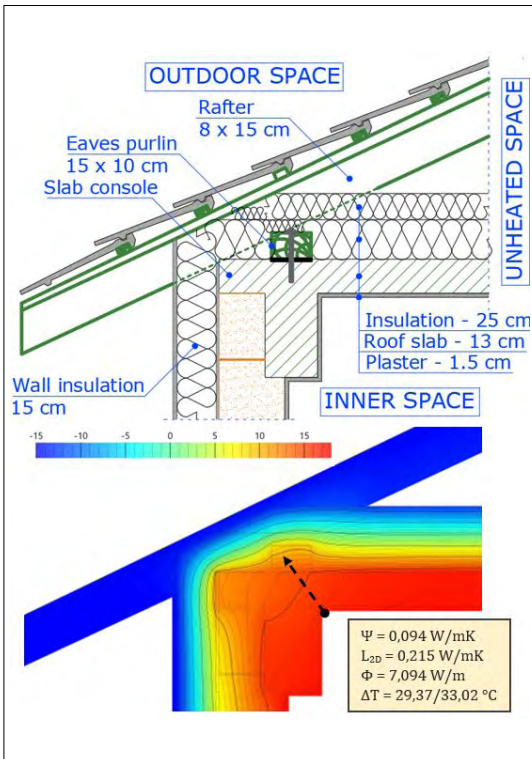
A székoszlopok alsó pontjában keletkezett 0,744 W hőáram 0,0219 W/K pontszerű hőátbocsátási tényezőt határoz meg. A menetes száruk nincsenek közvetlen kapcsolatban a padlástér alacsonyabb hőmérsékletével, az általuk meghatározott pontszerű hőhid χ értéke elenyésző, 0,0006 W/K. A székoszlopok hőszigetelése hiányá-



1. ábra. A székoszlopok hőszigetelése



2. ábra. A hőszigetelt székoszlopok hőmérséklet-eloszlása és Ψ értékei



3. ábra. A talpszelemen hőszigetelése és Ψ értéke

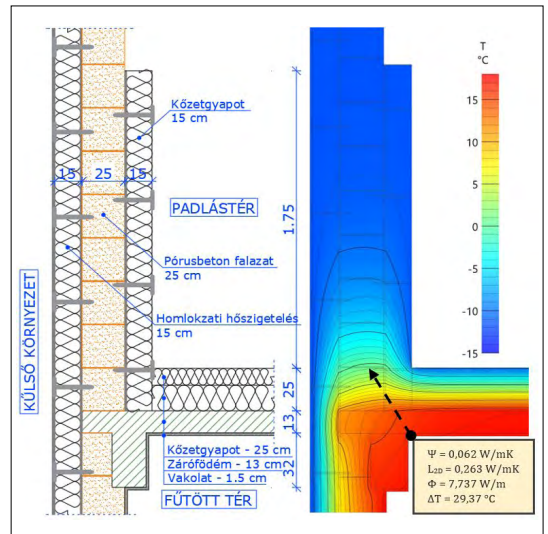
ban a ψ és χ jelentősen megnőne 0,075 W/mK, illetve 0,0314 W/K-re.

A hőhidak javítása érdekében a talpszelemtet betakaró hőszigetelő réteg a szarufák között a zárófödém végéig tart (3. ábra), ahol csatlakozik a külső homlokzati szigeteléssel, megtartva ezáltal a termikus burok folytonosságát.

Azáltal, hogy a talpszelemen nincs közvetlen kapcsolatban a külső alacsony hőmérséklettel, a kezdeti vonalmenti hődíd 0,183 W/mK értéke helyett a kapott Ψ érték 0,094 W/mK, ami így is fokozottabb hővesztéssel jár a gerendafödém belső sarkánál, de a szarufák és a szerkezeti elemek pozíciója nem tett lehetővé kedvezőbb lehetőséget a hőhid csökkentésére. A horganyzott menetes rudak által létrejött pontszerű hőhidak együtthatói 0,0006 W/K darabonként.

Az épület keleti és északi oldalán található szomszédos házak következtében a tűzfalak egészen a nyeregretető csúcsáig tartanak, ezért a zárófödém két oldalsó sávjánál kialakuló lineáris hőhidak alakulnak ki. Ebből kifolyólag a padlás szintjén a külső fal homlokzati hőszigetelése követi az alsó szintek vastagságát, illetve a zárófödém és a fűtetlen tér találkozásánál 2,00 méter magasságáig a fal belső oldalán többlet-hőszigetelés található (4. ábra). A külső homlokzati falnak a padlástér alatti, illetve feletti rétegrövidje és hőátbocsátási tényezője a 2. táblázatban található.

A homlokzati falak hőszigetelésénél használt csavaros műanyag tiplik acél beütőszegői pontszerű hőhidakat hoznak létre a hőszigetelés, illetve a tartóelemek vastagságában. Az épületnél



4. ábra. A tűzfal-zárófödém csomópont

nyező értéke 0,665 W/mK, illetve a vonalmenti hővezetési tényező 0,464 W/mK (6. ábra). Tekintettel arra, hogy a zárófödémnél ezek a hőhidak csak három helyen jelennek meg, nem befolyásolják nagy arányokban a rétegtervi U értéket. Sokkal számottevőbb hővesztéség alakulhat ki a födém peremgerendái sávjában.

A köztes gerendának folytonos hőszigetelése minimálisra csökkentette a hőhidakat, a vonalmenti hőátbocsátási tényező 0,017 W/mK (7. ábra). Abban az esetben, amikor a vasbeton gerenda nincs megfelelően hőszigetelve, és csupán 5 cm vastag kőzetgyapot borítja be az alját, a Ψ értéke eléri a 0,096 W/mK-t, ami hatszorosára növeli a hőáramot a gerenda síkjában.

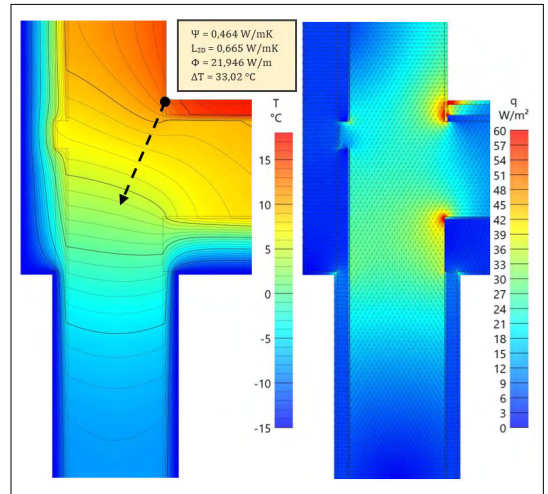
A zárófödém perem menti gerendája esetén a csomópont geometriájából kifolyólag nagyobb a hőáram, mint a köztes gerendáknál. Habár a termikus burok ebben a zónában is folytonos, illetve a vasbeton gerenda külső oldalán lehetséges volt egy 32,5 cm vastag hőszigetelő réteget elhelyezni a kapott vonalmenti hőátbocsátási tényező 0,105 W/mK (8. ábra). A kedvezőtlen variáns esetén, amikor nem létezik többlet-hőszigetelés, a ψ érték meghaladja a 0,174 W/mK-t.

3.3. Rétegtervi hőátbocsátási tényezők

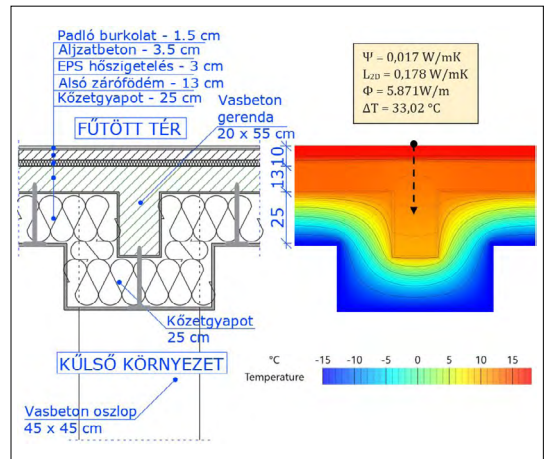
A kéttípusú térelhatároló elem javított hőátbocsátási tényezőjét a kezdeti U érték, illetve a vonalmenti és pontszerű hőátbocsátási tényezők határozzák meg. A 4. táblázatban észrevehető, hogy a padlásfödém nagy alapterülete a hőhidak mértékének számítását pozitívan befolyásolja, és mivel sikerült minimálisra csökkenteni a hővesztéseket, a kezdeti U érték 10,6%-kal növekedett. A zárófödém esetén, ahol viszonylag kis felületen két olyan zóna is létezik, ahol a hőhidak emelkedett értéket vesznek fel, a pontosított hőátbocsátási tényező 45,8%-kal nőtt.

4. táblázat. A térelhatároló elemek rétegtervi U értékei

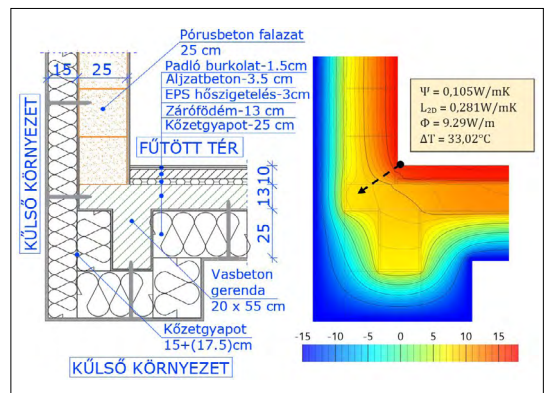
	Padlásfödém		Zárófödém	
U [W/m ² K]	0,150		0,131	
A [m ²]	946,90		35,40	
$\Psi \cdot l$ [W/K]	0,017	42,75	0,464	1,35
	0,094	121,8	0,017	3,40
	0,062	31,10	0,105	13,75
$\chi \cdot n$ [W/K]	0,0314	57	0,00	
	0,0008	57	0,00	
	0,0008	97	0,00	
U' [W/m ² K]	0,166		0,191	



6. ábra. A vasbeton pillér – zárófödém hőmérséklet-eloszlása és hőáramsűrűsége



7. ábra. A köztes vasbeton gerenda hőszigetelése és Ψ értéke



8. ábra. A zárófödém szelso vasbeton gerendája

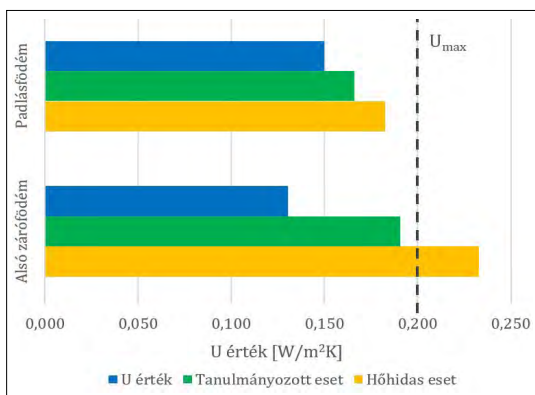
A födém hőhidjainak 67%-át a szélső gerendák alkotják, melyeknél a vonalmenti hőveszteségek csökkentése csak jelentős esztétikai kompromisszummal valósítható meg a csomópont geometriai formája miatt. A vasbeton pillér és a zárófödém találkozásánál lehetséges a hőhíd kialakulásának visszafogása, ha az oszlopot nem 5 cm, hanem 15 vagy 20 cm vastag kőzetgyapattal veszi körül. Az első megoldás esetén a vonalmenti hőátbocsátási tényező 0,332 W/mK-re csökken, a második variánsnál csupán 0,295 W/mK-re esik vissza. A vasbeton pillérek esetében tehát alkalmazható a további 10 cm vastagságú hőszigetelés, amely során 40 százalékkal csökkenne a hőveszteség ezekben a pontokban.

Összehasonlítva az alkalmazott hőszigetelést a hagyományos szigetelési megoldásokkal (9. ábra), megállapítható, hogy az U' értéke további 10%-kal romlana, ha nem lenne figyelembe véve a termikus burok folytonossága, illetve a székoszlopok és a tűzfalak további hőszigetelése. Az így kapott U érték 0,183 W/m²K majdnem 22%-kal rontana a kezdeti hővezetési ellenálláson.

Az alsó zárófödém esetén a hagyományos hőszigetelési megoldásokat alkalmazva a hőátbocsátási tényező 0,233 W/m²K, további 20%-kal növelve a hőveszteséget, és meghaladva ezáltal a zárófödémnél előírt maximum U értéket, ami 0,20 W/m²K.

4. Következtetések

A tanulmányozott padlásfödém székoszlopai és a tűzfalak beburkolása plusz hőszigeteléssel fűtetlen térben alkalmazható megoldást jelent a vonalmenti és pontszerű hőhidak csökkentésére a szerkezeti elemeknél, továbbá a menetes száruk által keletkezett pontszerű hőhíd nem befolyásolja számottevően a termikus burok hőátbocsátási tényezőjét.



9. ábra. Rétegtervi U értékek összehasonlítása

Az alsó zárófödém esetén a tételhatároló elemek geometriai kialakítása hátrányt jelent a hőhidak csökkentésénél és kisebb felületű épületszerkezeteknél, nagyobb arányban romlik azok hővezetési ellenállása. A vasbeton pillérek hőszigetelési vastagságának növelése viszont kedvezőbben befolyásolhatja a hőveszteségek kialakulását a födémnél.

A tanulmányozott épülethatároló elemeknél megállapítható, hogy a hőveszteségeket akár 20%-kal is csökkenteni lehet, ha nagyobb figyelmet kapnak a csomópontok geometriai és hőtechnikai megoldásai. Minimalizálva a hőhidak kialakulását, optimalizálni lehet a hőátbocsátási tényezőket, úgy, hogy ne legyen szükséges megnövelni a hőszigetelés vastagságát a teljes felületen.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] 2018/2002: Az Európai Parlament és Tanács (EU) irányelve az energiahatékonyságról szóló 2012/27 (EU) irányelv módosításáról. 2018.
- [2] Az Európai Parlament és a Tanács 2010/31/EU irányelve az épületek energiahatékonyságáról. 2010.
- [3] 13/2016: Rendelet az épületek energiahatékonyságáról szóló 372/2005. sz. törvény módosításáról.
- [4] Daniel D., Tănasă C., Stoian V., Brata S., Stoian D., Nagy-György T., Floruț S. C.: *Passive house design: An efficient solution for residential buildings in Romania*. Energy for Sustainable Development. 32. (2016) 99–109. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2016.03.007>
- [5] Boros I., Tănasă C., Stoian V., Daniel D.: *Thermal studies of specific envelope solutions for an energy efficient building*. Key Engineering Materials, 660. (2015) 192–197. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.660.192>
- [6] Mc001/1–2006: Methodology for calculation of energy performance of building. The building envelope.
- [7] EN ISO 10211:2017 – Thermal bridges in building construction – Heat flows and surface temperatures – Detailed calculations
- [8] HTflux – Hygic and Thermal Simulation Software (letöltve: 2020. október 20.). <https://www.htflux.com/>
- [9] Passipedia – The Passive House Resource <https://passipedia.org/> (letöltve: 2020. október 20.).
- [10] Karda Sz., Nagy-György T., Daniel D., Boros I.: *Analysis of the thermal behavior of a glass fiber reinforced polyamide fastener*. In: 18th International Technical-Scientific Conference on Modern Technologies for the 3rd Millennium. Oradea, Romania, 2019. 217–222.