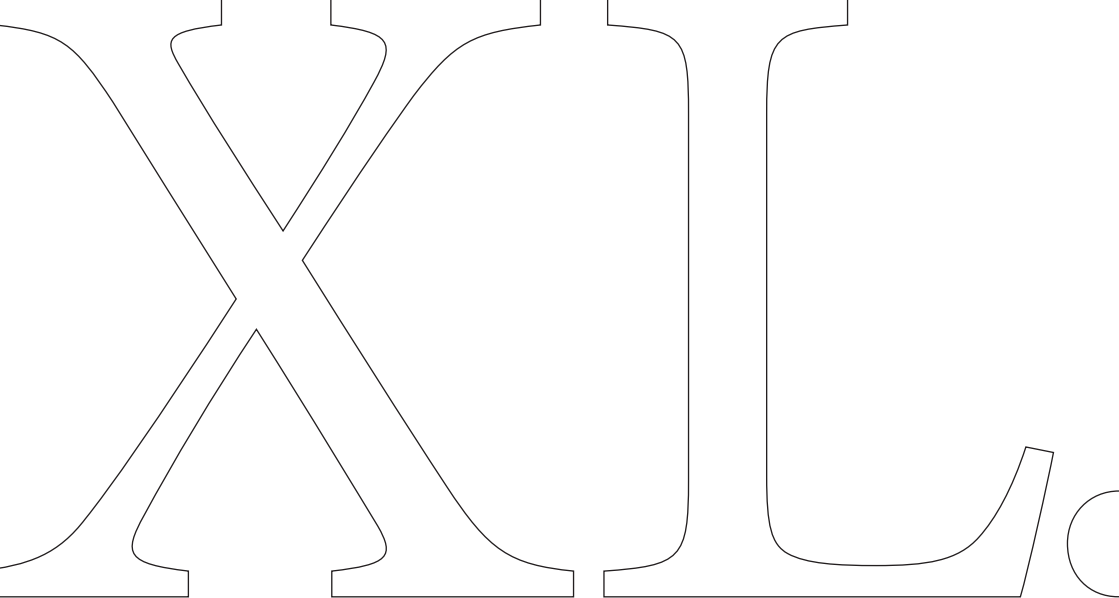




Épületszerkezettani Konferencia

Győr – Pannonhalma,
2015. május 21-22.



Épületszerkezettani Konferencia

Győr – Pannonhalma,
2015. május 21-22.

XL. Épületszerkeztani Konferencia
Győr – Pannonhalma, 2015. május 21-22.

konferenciakötet, elektronikus kiadás

ISBN 978-615-5391-37-8

DOI 10.18134/SZE-EET.2015

A konferenciát szervezte és a kötetet kiadja:

Széchenyi István Egyetem

Építész-, Építő- és Közlekedésmérnöki Kar

Építészeti és Épületszerkeztani Tanszék

9026 Győr, Egyetem tér 1.

<http://eet.sze.hu/>

Felelős kiadó:

Dr. Fátrai György tanszékvezető

A kiadványt szerkesztették:

Dr. Fátrai György

fatrai@sze.hu

Horváth Tamás

htms@sze.hu

A konferencia kizárólagos támogatója:

Austrotherm Hőszigetelőanyag Gyártó Kft.

Tartalom

A konferencia programja	3
A konferencia résztvevői	5
A konferencia előzményei	9
Nanotechnológiás kerámia hőszigetelő bevonatok vizsgálatai	11
Dr. Bozsaky Dávid egyetemi adjunktus Széchenyi István Egyetem, Építészeti és Épületszerkeztani Tanszék	
Kinetikus ernyőszerkezet	23
Dr. Halada Miklós egyetemi adjunktus Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Épületszerkeztan Tanszék	
Állapotelemzésen alapuló felújítási és bővítési javaslatok	39
1950-es, 1960-as években épült győri középiskolák épületeire Horváth Tamás egyetemi tanársegéd Széchenyi István Egyetem, Építészeti és Épületszerkeztani Tanszék	
Hőszigetelő anyagok hővezetési tényező értéke	59
a műszaki adattaptól a gyakorlati alkalmazásig Keresztessy Éva doktorandusz Budapesti Műszaki Egyetem, Építészmérnöki Kar, Épületszerkeztan Tanszék	

Meddig él a hőszigetelés?	67
Kruchina Sándor marketing vezető Austrotherm Hőszigetelőanyag Gyártó Kft.	
Ismeretrendszerezés az épületszerkezettan területén	73
Molnárka Gergely egyetemi tanársegéd Széchenyi István Egyetem, Építészeti és Épületszerkeztani Tanszék	
Padlószervezetek hőtechnikai modellezése és energiatudatos tervezésük	93
Nagy Balázs doktorandusz Budapesti Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék	
Történelmi ablakszerkezetek körül kialakuló hőhidak problémái és felújítási lehetőségei	109
Tömböly Cecília egyetemi tanársegéd Budapesti Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék	
Barokk fedélszék es boltozat szerkezeti összefüggései – Gondolatok néhány kisalföldi templom szerkezeti felújítása kapcsán	121
Dr. Veöreös András egyetemi docens Széchenyi István Egyetem, Építészettörténeti és Városépítési Tanszék	

A konferencia programja

2015. május 21. csütörtök

10.00-10.20 Érkezés, regisztráció, „welcome coffee”

10.20-10.30 Köszöntő

Dr. Fátrai György tanszékvezető egyetemi docens (SZE)

10.30-11.15 Austrotherm szponzori előadás:

Aktuális kérdések a hőszigetelés témakörében

- A hőszigetelés várható élettartama

- Új épületenergetikai határértékek és a várható változások

- Fordított rétegendű tetők hőszigetelése az új határértékek szerint

Kruchina Sándor marketing vezető

Austrotherm Hőszigetelőanyag Gyártó Kft.

11.15-12.00 Kerekasztal beszélgetés az építészképzés jövőjéről és az épületszerkezettan oktatást érintő új kihívásokról

12.00-13.15 Ebédszünet: ebéd a Hotel Famulus éttermében

13.15-14.00 Kortárs építészet Pannonhalmán

Papp Róbert és Cseh András építészek (CZITA Építész Iroda)

14.00-15.00 Utazás Pannonhalmára busszal

- 15.00-18.00 Pannonhalmi túra: a fogadóépület, az új látogatóbejárat, a rekonstruált bazilika, az apátság, az arborétum, a biomassza fűtőmű és a borászat megtekintése szakvezetéssel, borkóstolással
- 19.30-22.00 Vacsora az új Apátsági Majorban
- 22.00-23.00 Utazás vissza Győrbe

2015. május 22. péntek

Szakmai előadások

levezető elnök: Dr. Petró Bálint professor emeritus (BME ÉT)

- 10.00-10.20 Nanotechnológiás kerámia bevonatok vizsgálatai
Dr. Bozsaky Dávid egyetemi adjunktus (SZE)
- 10.20-10.40 Padlószervezetek hőtechnikai modellezése és energiatudatos tervezésük
Nagy Balázs doktorandusz (BME MET)
- 10.40-11.00 Passzívház technológiás épületek aeroszol vizsgálata
Kozmáné Szirtesi Krisztina egyetemi tanársegéd (DE)
- 11.00-11.20 Energiatudatos és környezetbarát? –
Életciklus szemlélet a tervezésben
Dr. Szalay Zsuzsa egyetemi adjunktus (BME MET)
- 11.20-11.40 Ismeretrendszerezés az épületszerkezetek terén
Molnárka Gergely egyetemi tanársegéd (SZE)
- 11.40-12.00 Az MTA székház ablakainak felújítása
Dr. Dobszay Gergely egyetemi docens
- 12.00-13.30 Ebédszünet: ebéd a Hotel Famulus éttermében

Fakultatív programok

- 13.30-14.30 Séta a Széchenyi István Egyetem új és felújított épületeiben:
új főépület és könyvtár, felújított tanulmányi épület, napelemes kiserőmű, Építész Múteremház, Mobilis Kiállítási Központ
- 15.00-16.00 Tárlatvezetés a Rómer Flóris Művészeti és Történeti Múzeum
Gróf Battyány Gyula – Képek egy eltűnt világból című kiállításán

A konferencia résztvevői

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Építészmérnöki Kar

Épületszerkeztan Tanszék

1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3.

<http://www.epszerk.bme.hu/>

- Dr. Petró Bálint prof. emeritus
- Dr. Becker Gábor egyetemi tanár
- Dr. Dobszay Gergely egyetemi docens
- Horváth Sándor egyetemi adjunktus
- Keresztessy Éva doktorandusz

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Építőmérnöki Kar

Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3.

<http://www.met.bme.hu/>

- Dr. Tóth Elek egyetemi docens
- Dr. Medgyasszay Péter egyetemi docens
- Dr. Csanaky Judit Emília egyetemi adjunktus

- Dr. Szalay Zsuzsa egyetemi adjunktus
- Nagy Balázs doktorandusz

Debreceni Egyetem

Műszaki Kar

Építőmérnöki Tanszék

4028 Debrecen, Ótemető utca 2-4.

<http://www.epito.eng.unideb.hu/>

- Kozmáné Szirtesi Krisztina egyetemi tanársegéd
- Martonosi Zsolt mérnök tanár

Eötvös József Főiskola

Vízépítési és Vízgazdálkodási Intézet

Vízépítési szakcsoport

6500 Baja, Bajcsy Zsilinszky Endre utca 14.

<http://vvi.ejf.hu/>

- Dr. Lepsényi Ákos főiskolai adjunktus

Nyugat-magyarországi Egyetem

Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar

Építéstani Intézet

9400 Sopron, Bajcsy Zsilinszky Endre utca 4.

<http://eptan.fmk.nyme.hu/>

- Dr. Szabó Péter egyetemi docens

Pécsi Tudományegyetem

Műszaki és Informatikai Kar

Építészmérnök Szakmai Intézet

Épületszerkezettan Tanszék

7624 Pécs, Boszorkány utca 2.

<http://www.mik.pte.hu/>

- Dr. Halada Miklós egyetemi adjunktus
- Dr. Bakó Tibor egyetemi docens

Széchenyi István Egyetem

Építész-, Építő- és Közlekedésmérnöki Kar

Építészeti és Épületszerkezzettani Tanszék

9026 Győr, Egyetem tér 1.

<http://eet.sze.hu/>

- Dr. Koppány Attila egyetemi tanár
- Dr. Fátrai György egyetemi docens
- Dr. Bozsaky Dávid egyetemi adjunktus
- Kőrössi Éva egyetemi adjunktus
- Cseh András egyetemi tanársegéd
- Horváth Tamás egyetemi tanársegéd
- Molnárka Gergely egyetemi tanársegéd
- Takács Attila tanszéki mérnök
- Papp Róbert építész
- Kruchina Sándor marketing vezető,
Austrotherm Hőszigetelőanyag Gyártó Kft.

Szent István Egyetem

Ybl Miklós Építéstudományi Kar

Építészmérnöki Intézet

1142 Budapest, Tökölly út 74.

<http://epiteszmernoki.intezet.yymm.f.hu/>

- Dr. Makovényi Ferenc főiskolai tanár
- Vizi Gergely Norbert egyetemi tanársegéd

A konferencia előzményei

Dr. Fátrai György gyűjtése
tanszékvezető egyetemi docens
Széchenyi István Egyetem
Építész-, Építő- és Közlekedésmérnöki Kar
Építészeti és Épületszerkeztani Tanszék
fatrai@sze.hu

Sorszám	Év	Helyszín	Szervező
	1979	Balatonfüred	BME Épületszerkeztan Tanszék
	1980	Pécs	Pollack Mihály Műszaki Főiskola
	1980	Győr	Közlekedési és Távközlési Műszaki Főiskola
	1981	Hajdúszoboszló	Debreceni Egyetem
	1982	Balatonfüred	BME Magasépítési Tanszék
	1983	Verőcemasoros	Ybl Miklós Műszaki Főiskola
	1984	Kecskemét	BME Épületszerkeztan Tanszék
	1985	Győr	Közlekedési és Távközlési Műszaki Főiskola
	1986	Pécs	Pollack Mihály Műszaki Főiskola
	1987	Debrecen	Debreceni Egyetem
XIII.	1988	Vörösberény	BME Magasépítési Tanszék
XIV.	1989	Pécs	Pollack Mihály Műszaki Főiskola
XV.	1990	Fertőd	Soproni Egyetem

XVI.	1991	Győr	Széchenyi István Főiskola
XVII.	1992	Baja	Eötvös József Főiskola
XVIII.	1993	Vasszécseny	Ybl Miklós Műszaki Főiskola
XIX.	1994	Vasszécseny	BME Épületszerkeztan Tanszék
XX.	1995	Noszvaj	Debreceni Egyetem
XXI.	1996	Pécsvárad	Pollack Mihály Műszaki Főiskola
XXII.	1997	Sopron	Soproni Egyetem
XXIII.	1998	Balatonfüred	BME Magasépítési Tanszék
XXIV.	1999	Győr	Széchenyi István Főiskola
XXV.	2000	Szilvásvárad	Ybl Miklós Műszaki Főiskola
XXVI.	2001	Dunaszerdahely	Pozsonyi Műszaki Egyetem
XXVII.	2002	Szódliget	BME Épületszerkeztan Tanszék
XXVIII.	2003	Baja	Eötvös József Főiskola
XXIX.	2004	Nyíregyháza – Sóstó	Debreceni Egyetem
XXX.	2005	Sopron-Bécs	Nyugat-magyarországi Egyetem
XXXI.	2006	Villány	Pollack Mihály Műszaki Kar
XXXII.	2007	Sobor – Győr	Széchenyi István Egyetem
XXXIII.	2008	Orosháza	BME Magasépítési Tanszék
XXXIV.	2009	Felsőmocsolád	Ybl Miklós Műszaki Főiskola
XXXV.	2010	Baja	Eötvös József Főiskola
XXXVI.	2011	Debrecen	Debreceni Egyetem
XXXVII.	2012	Sopron	Nyugat-magyarországi Egyetem
XXXVIII.	2013	Zsámbék	BME Épületszerkeztan Tanszék
XXXIX.	2014	Pécs	Pollack Mihály Műszaki Kar
XL.	2015	Győr – Pannonhalma	Széchenyi István Egyetem

Nanotechnológias kerámia hőszigetelő bevonatok vizsgálatai

Dr. Bozsaky Dávid egyetemi adjunktus
Széchenyi István Egyetem
Építész-, Építő- és Közlekedésmérnöki Kar
Építészeti és Épületszerkeztani Tanszék
bozsaky@gmail.com

DOI 10.18134/SZE-EET.2015.1

1. Bevezetés

A nano jelző a görög nanosz szóból ered, melynek jelentése törpe. A Nemzetközi Mértékegység Rendszerben (SI) a nano- előtag azt jelenti, hogy az utána következő mértékegység az alapegység egymilliárdod része, vagyis 1 nanométer (nm) = 10^{-9} méter.

A nanotechnológia olyan kisméretű részecskékkel, szerkezetekkel foglalkozik, melyek méretei ebben a mérettartományban találhatók. A hagyományos gyártástechnológiáktól alapvetően abban különbözik, hogy nem valami nagyobb dologból távolítja el a „felesleget”, hanem atomokból próbálja összerakni a dolgokat.

1. 1. A nanotechnológia rövid története

Elsőként a Nobel-díjas amerikai fizikus, Richard P. Feynman (1918-1988) foglalkozott az extrém miniaturizálással, s ezzel kapcsolatos elméletét egy, óta híressé vált előadásában ismertette 1959-ben a Kaliforniai Egyetemen [1].

A nanotechnológia kifejezést először a japán Norio Taniguchi (1912-1999) használta 1974-ben az On the Basic Concept of Nano-Technology (A nanotechnológia alapelveiről) című cikkében [1]. Nanotechnológiával foglalkozó

első fontosabb tanulmányt C. G. Granqvist és R. A. Buhrman publikálták 1976-ban. Az 1980-as évek elején S. Komarneni és R. Roy módszert fejlesztettek ki nano-kerámia részecskék létrehozására [2]. Először szol-gél technológiát alkalmaztak, melyet később felváltott a szinterelés (magas hőmérsékleten történő zsugorítás). Azonban ez a technológia sem volt elég termelékeny, ezért a 2000-es évek elején a gyártási folyamat során használt hagyományos hőtermelőket felcserélték mikrohullámú berendezésre. Mivel a mikrohullámok nem kívülről melegítik az anyagot, hanem be tudnak jutni az anyag belsejébe, ez a módszer sokkal hatékonyabbnak bizonyult nano-kerámia részecskék előállítására [2].

1.2. Nanotechnológia az építészetben

A nanotechnológiát egyre szélesebb körben alkalmazzák az építészetben. A cementhez adagolt nano-szilikátok növelik a szerkezet tartósságát és nyomószilárdságát [3]. Folyósítóként, valamint vízzáróságot fokozó adalékszerként is használhatók [6]. Szénből, vagy titánból készült nanocsövek és nanoszálak felhasználásával növelhető a betonok hajlító- és húzószilárdsága [6, 7]. Nanocsövekkel és nanoszállal erősített faanyagú kompozitok teherbírása pedig az acélével is vetekszik [5]. Üvegfelületek, padlók, homlokzatok öntisztulóvá tehetőek titán-dioxidos (TiO_2) nanobevonatok segítségével. Nanorészecskét tartalmazó bevonatok jó páraáteresztő képességűek, védik a szerkezetet a tűztől és a korróziótól [6, 7].

1.3. Nano-kerámia hőszigetelő bevonatok

A nano-kerámia hőszigetelő bevonatok (pl. TSM Ceramic, ThermoShield, Manti, Protector) mikroszkopikus méretű (20-120 mikrométer), belül üreges, vákuumizált kerámia gömböcskéket tartalmaznak, melyeket magas (1500 °C) hőmérsékleten megolvasztott üvegből nyernek gáznyomás alatt. Lehűlés közben, ahogy a nyomás megszűnik, a kerámia gömböcskékben vákuum alakul ki. A vákuumizált golyócskákat egy folyékony, szintetikus kaucsukot, akrilos polimereket és szerves pigmenteket tartalmazó elegyben eloszlatják. Ennek a kötőanyagnak fő alkotórésze az akril latex (80 %) és a sztírol (20 %). A sztírol javítja a termék mechanikai tulajdonságait, az akril latex pedig megfelelő rugalmasságot és időjárás-állóságot kölcsönöz az anyagnak. Különböző természetes

adalékanyagok (biocidok, konzerváló szerek, gomba- és penészállóságot fokozó anyagok) segítségével ellenálló képességét tovább fokozzák [6, 7].

Nano-kerámia bevonatos hőszigetelés kivitelezésekor a kerámia gömböcskéket összekeverik a kötőanyagával, hozzákeverik az adalékszereket. A szigetelendő felületre ecsettel, vagy vákuumos porlasztó segítségével lehet felvinni. [4, 9]

Ezekben a mikroszkopikus vákuumterekben a hőtranszport egészen más-hogy zajlik, mint a hagyományos hőszigetelő anyagokban. A hő terjedése a hőszigetelő anyagokban háromféle módon terjed: hővezetés (anyag cellafalain keresztül), hőáramlás (anyag celláiba bezárt levegő részecskéi között) és hőszugárzás (az egymással szemközti cellák falai között) formájában. A kerámia-gömbök falai olyan vékonyak és olyan kis felületek mentén érintkeznek, hogy a hővezetés folyamata nagyon lelassul. Mivel a kerámia gömbökben lévő tér rendkívül kicsi, ráadásul a vákuum miatt nagyon kevés levegőrészecske van bennük, ezek a molekulák a cella falának ütköznek és nem egymásnak, így a hőenergia nem tud molekuláról molekulára átadódni. Így a hőáramlás is minimális. Az anyagban lévő cellák belső felülete pedig kerámia, mely ún. hőtükröként működik és a szemközti cellafalokról induló elektromágneses hőszugárzás 60-80%-át visszaverik, a hőenergia szétszóródik, így a hőszugárzás – mint a hőterjedés harmadik formája – szintén nagymértékben gátolt [1, 6, 7, 9].

1.4. Nano-kerámia hőszigetelő bevonatok anyagtulajdonságai

A szakirodalom a kerámia hőszigetelő bevonatokkal kapcsolatban különféle műszaki paramétereket ad meg (1. táblázat), melyek közül a hőtechnikai tulajdonságok meglehetősen ellentmondásosak. Néhány forrás extrém alacsony hővezetési tényezőt ad meg (0,001-0,003 W/mK) [7, 8], míg mások ennél jóval magasabb értékeket (0,01, és 0,14 W/mK) [8].

Azonban a legtöbb adatot a szakirodalom és a gyártók termékismertetői nem támasztják alá laborvizsgálatokkal, vagy pedig arra alkalmatlan módszerrel határozzák meg. A hővezetési tényezőt például az MSZ EN 1934:2000 (Épületek hőtechnikai viselkedése. A hővezetési ellenállás meghatározása mérőkamrák eljárásával, hőárammérővel. Falazat) és az MSZ EN 8990:2000 (Hőszigetelés.

Tulajdonság	Jel	Mértékegység	Érték
Testsűrűség (nedves)	ρ_{nedves}	kg/m ³	500-745
Testsűrűség (légszáraz)	$\rho_{\text{száraz}}$	kg/m ³	290-410
Húzószilárdság	$\sigma_{\text{húzó}}$	kPa	300-400
Tapadósilárdság (betonfelület)	$\tau_{\text{tap, beton}}$	kPa	460-920
Tapadósilárdság (acélfelület)	$\tau_{\text{tap, acél}}$	kPa	470-900
Vízáteresztő képesség	w	kg/m ² h ^{0,5}	0,16-0,20
Hővezetési tényező	λ	W/mK	0,001-0,003, 0,014, 0,140

1. táblázat Nano-kerámia hőszigetelő bevonatok fontosabb műszaki paraméterei [8, 9, 10]

Hőátbocsátási tulajdonságok meghatározása állandósult állapotban. Kalibrált kamra és segédkamra) szabvány szerint végzett falszerkezet hőátbocsátási tényezőjéből számítják közvetett módon, amely számítás nem veszi figyelembe az anyag hővisszaverő tulajdonságát, valamint a falfelület és a határoló légréteg közti hőátadást. Találhatók a szakirodalomban azzal kapcsolatos elvek, hogy hővezetési tényező helyett a felületi hőátbocsátási tényezőt érdemes vizsgálni, egyesek meg is határoznak a hagyományos számításoktól eltérő felületi hőátadási tényező értékeket, de konkrét mérési módszert és eredményeket nem közölnek [8, 9, 10].

Hőszigetelő anyagok hővezetési tényezőjének meghatározásához egyedül az MSZ EN 12667:2001 (Építési anyagok és termékek hőtechnikai viselkedése. A hővezetési ellenállás meghatározása segédfűtőlapos és hőárammérős eljárással. Nagy és közepes hővezetési ellenállású termékek) szabvány ad utasításokat.

2. Laborvizsgálatok és eredmények

A győri Széchenyi István Egyetem Építés-, Építő és Közlekedésmérnöki Karának Építészeti és Épületszerkeztani Tanszékéhez tartozó Építőanyagvizsgáló és Épületfizikai Laboratóriumban számos vizsgálatot végeztem nano-kerámia hőszigetelő bevonatokkal, hogy a gyártók és a szakirodalom által megadott műszaki adatokat igazolni tudjam.

Az MSZ EN 1602:2013 (Hőszigetelő termékek épületekhez. A testsűrűség meghatározása) segítségével az anyag testsűrűségét vizsgáltam nedves és

légszár az állapotban. Az MSZ EN 12667:2001 szabvány szerint megmértem a hővezetési tényezőjét a laboratóriumban található Taurus TCA 300 nevű hővezetési tényező mérő készülékkel. Az anyag hosszú idejű, teljes vízbemerítéssel történő vízfelvevő képességét is megvizsgáltam az MSZ EN 12087:2013 (Hőszigetelő termékek épületekhez. A vízfelvétel meghatározása hosszú ideig tartó bemerítéskor) szerint.

Megvizsgáltam az anyag nedvességtartalma és hővezetési tényezője közti összefüggést, valamint a vízfelvétel időbeli alakulását is.

2.1. Testsűrűség

A vizsgálatokhoz megfelelő mennyiségű mintára volt szükség. A folyós állagú friss nano-kerámia keveréket felületkezelt fakeretekbe töltöttük és megszilárdulásukig ott tároltuk őket. Mikor a minták kellően megszilárdultak, a fakeretet eltávolítottuk.

Kizsaluzás után meghatároztam a minták befoglaló méreteit (szélesség, hosszúság, vastagság) és megmértem a tömegüket, mely adatok segítségével kiszámítottam a minták nedves testsűrűségét, mely 510,84-555,87 kg/m³ között változott, az átlag pedig 533,01 kg/m³-nek adódott (2. táblázat). Ezt követően a mintákat szárítószekrényben helyeztem el, ahol súlyállandóságig kiszárítottam őket. A szárítást követően ismét meghatároztam a minták méreteit és tömegét, mely adatok alapján légszár az testsűrűségük 353,29-386,25 kg/m³ közti értékeket adott, az átlagos testsűrűség pedig 370,28 kg/m³ volt (2. táblázat). Összehasonlítva a gyártók által közölt adatokkal (1. táblázat), megállapíthatjuk, hogy mind a nedves, mind a légszár az állapotban meghatározott testsűrűség illeszkedik a megadott értékhatárok közé.

Tulajdonság	Jel	Mértékegység	Érték
Testsűrűség (nedves)	ρ_{nedves}	kg/m ³	533,01
Testsűrűség (légszár az)	$\rho_{\text{szár az}}$	kg/m ³	370,28
Hővezetési tényező	λ	W/mK	0,069

2. táblázat Laborvizsgálatok során meghatározott műszaki paraméterek

2.2. Hővezetési tényező

A szakirodalom áttanulmányozása alapján a hővezetési tényező meghatározása problémásnak ígérkezett. A laboratóriumban található Taurus TCA 300 mérőkészülék ugyanis csak 20-120 mm közti vastagsági mérettartományban képes megmérni az anyag hővezetési tényezőjét, míg a nano-kerámia hőszigetelő bevonatok alkalmazott szokásos vastagsága 0,5-2,0 mm. Ezen kívül a műszer mérési tartománya 0,01-0,50 W/mK közt található, míg egyes szakirodalmi források a nano-kerámia hőszigetelő bevonatoknak jóval kisebb értékeket (0,001-0,003 W/mK) adnak meg, melyek kívül esnek ezeken a határértékeken.

Mindezekből kiindulva kétféle mérési módszert dolgoztam ki, hogy a hőszigetelő bevonat jó hőszigetelő képességét és hővisszaverő képességét ki lehessen mutatni.

Az első ötlet azon alapult, hogy megmértem három különböző, hagyományos hőszigetelő anyag hővezetési tényezőjét, majd ezekre hőszigetelő nano-kerámia bevonatot hordok fel, és megmértem a hővezetési tényezőt a bevonattal együtt. A vizsgálatokhoz az egyik ilyen hőszigetelő bevonat gyártója szolgáltatja a próbatesteket. Kiválasztottam három különféle anyagot (expandált polisztirol, extrudált polisztirol és farostlemez), melyekből ötféle minta készült:

1. típus bevonat nélküli minta
2. típus egyoldali bevonat a felső (meleg) oldalon
3. típus egyoldali bevonat az alsó (hideg) oldalon
4. típus kétoldali bevonat
5. típus bevonat két hőszigetelő réteg között

Minden típusból 3-3 próbatest állt rendelkezésemre, melyeknek meghatároztam a hővezetési tényezőjét. Várakozásaim szerint, ha a hőszigetelő bevonatnak tényleg olyan alacsony hővezetési tényezője van, amit egyes szakirodalmak állítanak, és hővisszaverő tulajdonsággal rendelkezik, akkor jelentős különbségeknek kell adódnia a bevonattal ellátott (2-5. típusú) és a bevonat nélküli (1. típusú) minták között, még hozzá a bevonatos mintáknál jóval alacsonyabb hővezetési tényezőt kéne mérni. Azonban a mérési eredmények (3. táblázat) nem ezt támasztották alá.

A 3. táblázat adataiból kiolvasható, hogy egyedül az extrudált polisztirol (XPS) minták esetében csökkent valóban a hővezetési tényező, azonban ez sem

Anyag	Hővezetési tényező								
	Bevonat nélkül	Nano-kerámia hőszigetelő bevonattal							
		Meleg oldalon			Hideg oldalon		Mindkét oldalon		Két minta között
	λ	λ	$\Delta\lambda$	λ	$\Delta\lambda$	λ	$\Delta\lambda$	λ	$\Delta\lambda$
(W/mK)	(W/mK)	%	(W/mK)	%	(W/mK)	%	(W/mK)	%	
EPS	0,0399	0,0402	0,84	0,0403	1,00	0,0406	1,76	0,0412	3,43
XPS	0,0347	0,0343	-0,91	0,0343	-1,01	0,0335	-3,32	0,0340	-1,78
Farostlemez	0,0922	0,0936	1,52	0,0942	2,11	0,0946	2,60	0,0988	7,16

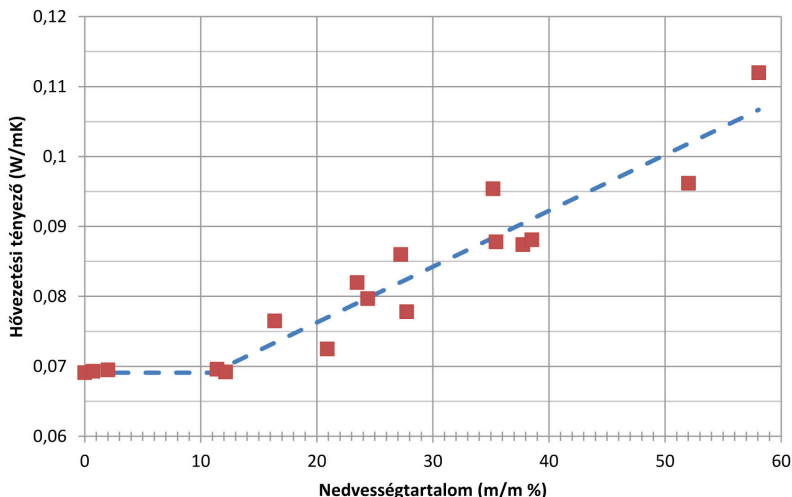
3. táblázat A nano-kerámia hőszigetelő bevonattal ellátott minták mérési eredményei

a várakozásoknak megfelelő mértékben. Mindegy, hogy a bevonat a hideg (külső), vagy a meleg (belső) oldalon volt, a különbség közel azonos értéket adott (0,91% és 1,01%). A legnagyobb változást (3,32%) a kétoldali bevonat okozta, míg a két polisztirol lap között elhelyezett bevonat 1,76%-os hővezetési tényező csökkenést eredményezett.

A másik két anyag esetében azonban a bevonat hatására nemhogy csökkent, hanem növekedett a minták hővezetési tényezője. Mindössze a növekedés mértéke volt különböző, ugyanis ez az érték a farostlemez mintáknál jóval nagyobb mértékben változott, mint az expandált polisztirol (EPS) esetén. Míg az egyoldali bevonat az EPS mintáknál 0,84%, illetve 1,00% hővezetési tényező növekedést okozott, addig a farostlemezek hőszigetelő képessége 1,52%, illetve 2,11%-os növekedést mutatott. A kétoldali bevonat 1,76%-kal növelte az expandált polisztirol és 2,60%-kal a farostlemez hővezetési tényezőjét. A két minta között elhelyezett hőszigetelő bevonat esetén tapasztaltam a legnagyobb (3,43% valamint 7,16%) változást. Mindezek alapján megállapíthatjuk, hogy ezzel a vizsgálattal a nano-kerámia hőszigetelő bevonatok jó hőszigetelő képessége és hővisszaverő tulajdonsága nem bizonyítható. További vizsgálatokra és kísérletekre van tehát szükség, melyek a felületi hőátadási tényező hagyományos épületfizikai szemlélettől különböző értékeit veszik figyelembe.

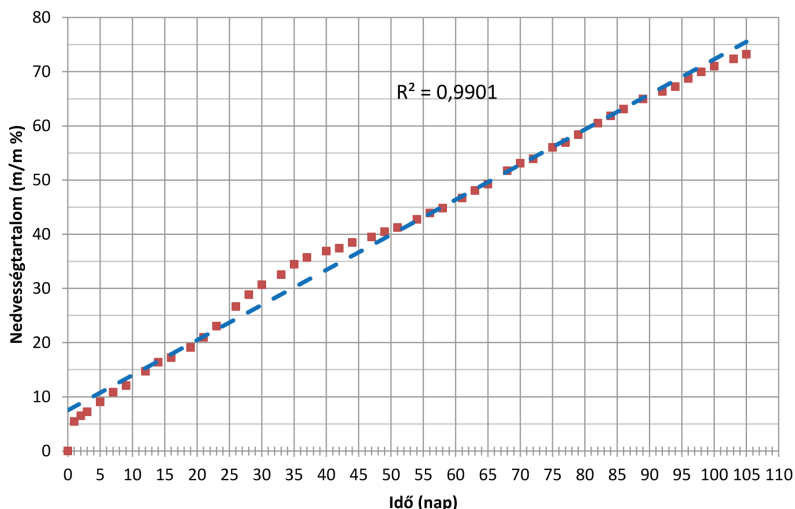
Az első vizsgálatok adták az ötletet a másik mérési módszerhez. Mivel az extrém jó hőszigetelő képességre és a hővisszaverő tulajdonságra nem sikerült bizonyítékot találni, felvetődött, hogy a hőszigetelő bevonat hővezetési tényezője mégiscsak a mérési tartományán belül (0,01-0,50 W/mK) lehet. Mindössze

arra volt szükség, hogy megfelelő vastagságú minta (min. 20 mm vastag) álljon rendelkezésre a vizsgálathoz. Kiváló mintául kínálkoztak a testsűrűség-vizsgálatokhoz használt próbatestek, melyek 30×30 cm méretűek voltak, vastagságuk pedig 25-35 mm. Megmértem tehát a hővezetési tényezőjüket a zsaluzatból való kivételük után, majd pedig szabályos időközönként a súlyállandóságig történő kiszáritás közben is. Így egyúttal megfigyelhető volt a hővezetési tényező és a nedvességtartalom együttes változása. A zsaluzatból kivett nedves állapotban (58,07 m/m% nedvességtartalom mellett) a hővezetési tényező 0,1120 W/mK volt, ami a légszáraz állapot felé haladva folyamatosan csökkent 0,0690 W/mK értékig. Ez az érték viszont teljesen különbözött minden olyan adattól, melyek a szakirodalomban fellelhetők (1. és 2. táblázat).



1. ábra A hővezetési tényező és a nedvességtartalom összefüggése

A nedvességtartalom és a hővezetési tényező összefüggését elemezve (1. ábra) megállapíthatjuk, hogy egy bizonyos nedvességtartalom (12 m/m%) értékig a légszáraz állapotban mért hővezetési tényező nem változik. Átlépve ezt a határt a nedvességtartalom növekedésével nő a hővezetési tényező is. Megállapíthatjuk tehát, hogy 12 m/m% nedvességtartalom után a hővezetési tényező és a nedvességtartalom növekedése egyenesen arányos. Ez a tömegszázalékos határérték nagyon hasonló a különféle természetes anyagoknál (pl. faanyagok) ismert természetes nedvességtartalom fogalmához, annak ellenére, hogy a nano-kerámia hőszigetelő bevonat egy mesterséges, szervesetlen anyag.



2. ábra A vízfelvétel időbeli alakulása

2.3. Vízfelvétel vizsgálatok

Hőszigetelő anyagok esetében a vízfelvétel nagyon fontos anyagtulajdonosság, hiszen a szigetelőanyagba kerülő nedvességtartalom negatív hatással van a hőszigetelő képességre. Vízfelvételük meghatározására az MSZ EN 12087:2013 jelű szabvány szerint van lehetőség, amely a minták teljes vízbemerítését és 28 napos víz alatti tárolását írja elő. Mivel az anyag hidrotechnikai tulajdonságai ismeretlenek voltak, és a vízfelvétel időbeli alakulását is meg akartam figyelni, így a vízfelvételt nem csupán 28 napos vízbemerítés után határoztam meg, hanem szabályos időközönként az első 28 napban, valamint a 28 nap eltelte után is.

A 2. ábrára rátekintve megállapíthatjuk, hogy egy kiugróan magas vízfelvételi érték jelentkezett az első 24 órában, azonban azt követően szinte teljesen egyenletessé vált. A szabvány által előírt 28 napos teljes vízbemerítéses vízfelvétel eredménye 28,81 m/m%-nak adódott. A szabvány ugyan csak 28 napig írja elő a minták víz alatti tárolását azt feltételezve, hogy az anyag 28 nap után már teljesen telítődött. Ez hagyományos hőszigetelő anyagoknál valóban így is van, azonban a vízfelvétel időbeli alakulását figyelve egyértelműen látszott, hogy 28 nap után a nano-kerámia hőszigetelő bevonat minták egyáltalán nem telítődtek. A vizsgálat másik célja a telített állapot meghatározása volt, így a

vizsgálatot folytattam. A 2. ábrán jól kivehető, hogy a vízfelvétel 28 nap eltelte után ugyanolyan egyenletesen növekedett még a 105-ödik napig is. A vizsgálat jelenleg is zajlik, mivel a minták még ekkor sem érték el a súlyállandóságig telített állapotot.

3. Összefoglalás

Szakirodalmi információk alapján ismeretes, hogy a nano-kerámia hőszigetelő bevonatokban a hő terjedésének folyamata nem úgy megy végbe, ahogy hagyományos anyagok esetében a bennük található nano méretű kerámiagömböcskék belső felületének hővisszaverő képességének köszönhetően. A gyártók termékismertetői és a tudományos szakirodalom különféle műszaki paramétereket közöl ezen anyagokkal kapcsolatban, melyek közül első sorban a hőtechnikai jellemzőkre találunk ellentmondásos adatokat.

A győri Széchenyi István Egyetem Építész-, Építő és Közlekedésmérnöki Karának Építészeti és Épületszerkezzetani Tanszékéhez tartozó Építőanyagvizsgálati és Épületfizikai Laboratóriumban kísérleteket végeztem, hogy ellenőrizzem ezeket a paramétereket, különös tekintettel a testsűrűsége, hőszigetelő képessége és vízfelvétele.

A testsűrűség-vizsgálatok eredményei (átlagos testsűrűség nedves állapotban $533,01 \text{ kg/m}^3$, légszáraz állapotban $370,28 \text{ kg/m}^3$) illeszkedtek a megadott értéktartományokba.

A hőszigetelő képesség vizsgálata azonban több nehézségbe ütközött (pl. mérőműszer méréstartománya), ezért a jó hőszigetelő képesség és a hővisszaverő képesség bizonyítására két módszert is alkalmaztam. Az egyik módszert alkalmazva, mely különféle hagyományos hőszigetelő anyagok felületére felhordott nano-kerámia hőszigetelő bevonatos minták vizsgálatain alapult, nem sikerült bizonyítékot találni az anyag ezen tulajdonságára. Az MSZ EN 12667:2001 alapján azonban sikerült közvetlenül megmérni az anyag hővezetési tényezőjét, mely érték ($0,0690 \text{ W/mK}$) teljes mértékben eltért a gyártók és a szakirodalom által közölt adatoktól. Az anyag jó hőszigetelő képességét tehát nem az alacsony hővezetési tényezője okozza, hanem valami más jelenség (felületi hőátadási tényező). Ennek tanulmányozására irányuló vizsgálatok már vannak, de további kísérletekre van szükség.

A hőszigetelő képesség és a nedvességtartalom közti összefüggést vizsgálva megállapítást nyert, hogy létezik egy 12 m/m% nedvességtartalom határ, amely érték alatt az anyag hőszigetelő képessége nem változik, felette viszont a nedvességtartalom és a hőszigetelő képesség egyenes arányban nő.

Az MSZ EN 12087:2013 szabvány alapján végzett hosszú idejű, teljes vízbermítéses vízfelvétel vizsgálatok alapján megállapíthatjuk, hogy az anyag 28 napos vízfelvétele 28,81 m/m%. A vízfelvétel időbeli alakulását is figyelembe véve megállapíthatjuk, hogy 24 óra után az anyag vízfelvétele teljesen egyenletes. 28 nap után nem telítődik, hanem ugyanolyan intenzitással tovább növekszik és még 105 nap után sem éri el a súlyállandóságig telített állapotot.

Felhasznált irodalom

- [1] M. Abdelrahman: Towards sustainable architecture with nanotechnology, Al-zahar Engineering 11th International Conference, Cairo, 2010, paper 154.
- [2] D. Hoffman, R. Roy, S. Komarneni: Diphasic ceramic composites via a sol-gel method, Materials Letters, Volume 2, Issue 3, 1984, pp. 245–247.
- [3] W. Lan, F. Kexing, Y. Liang, W. Botao: The Application of Ceramic Coatings in Petroleum Chemical and Building Industries, International Conference on Material and Environmental Engineering, 21.03-24.03.2014, Jiujiang (Jiangxi, China), Atalantis Press, ISBN 978-94-6252-004-2, 2014, pp. 146-149.
- [4] S. Leydecker: Nano-Materials in Architecture, Interior Architecture and Design, Birkhäuser Verlag AG, Berlin (Germany), ISBN 978-3-7643-7995-7, 2008.
- [5] R. A. McIntyre, R. A.: Common nano-materials and their use in real world applications, Science Progress, Volume 95, Number 1, 2012, pp. 1-22.
- [6] J. Orbán: A nanotechnológia építőipari alkalmazásai I. rész, Magyar Építéstechnika, 2012. évfolyam 1. szám
- [7] J. Orbán: A nanotechnológia építőipari alkalmazásai II. rész, Magyar Építéstechnika, 2012. évfolyam 2. szám
- [8] G. Paul, M. Chopkar, I. Manna, P. K. Das: Techniques for measuring the thermal conductivity of nanofluids: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 14, Issue 7, 2010, pp. 1913-1924.
- [9] Anon.: TSM Kerámai bevonatok, Fullisol Kft., Budapest (Hungary), p. 10.
http://www.fullisol.hu/files/TSM%20Ker%C3%A1mia%20bevonat_prospektus_v2.pdf
- [10] Anon.: New generation thermal insulating nano-coating with micro-sized ceramic balls, Mart Ltd., Dunakeszi (Hungary), p. 8.
<http://www.mahlmart.hu/docs/pages/mahlmart-prosi-eng.pdf>

Kinetikus ernyőszerkezet

Dr. Halada Miklós

egyetemi adjunktus

Pécsi Tudományegyetem

Műszaki és Informatikai Kar

Épületszerkeztan Tanszék

halada@pmmik.pte.hu

DOI 10.18134/SZE-EET.2015.2

1. Bevezető

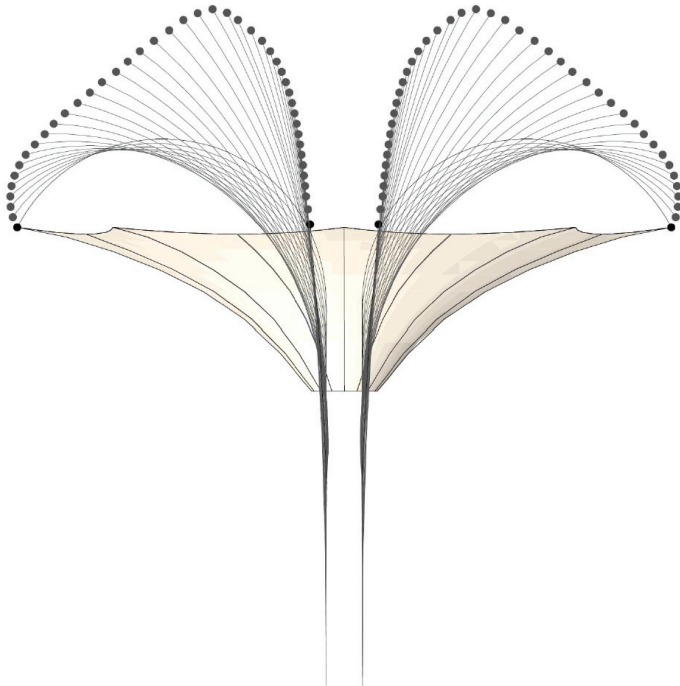
Az összecsukható ernyőszerkezetek hatalmas fejlődésen mentek át az utóbbi évtizedekben. A technológia és a számítógépes tervezés adta lehetőségekkel egyre kifinomultabb és fejlettebb szerkezetek jöttek létre egyre nagyobb feszítvokat lefedve. A hosszú fejlődési folyamat eredményeként a szerkezetek jelenlegi irányú fejlődése elérte csúcspontját (1. ábra).

A kutatás során kidolgozott szerkezet egy új működési elven alapszik, ami lényegesen leegyszerűsíti a szerkezet mozgását. Az ilyen típusú ernyők karszerkezetének nyitás-zárását rendszerint a középső tengelyen fel-le csúsztató szerkezet biztosítja, ami további rudak segítségével nyitja-zárja az ernyőt a hagyományos kézi esernyők működéséhez hasonlóan. Az új szerkezet nyitás-zárása is a függőleges mozgáson alapszik, viszont az ollósan záródó merev karszerkezet helyett hajlított kompozit karokat használ, ezáltal elhagyhatóak a bonyolult mechanikai megoldások, és olyan alternatívát kínál, ami lényegesen közelebb áll a könnyűszerkezetek alapelveihez.

Az összecsukható ernyőszerkezet célja, hogy az úgynevezett „hagyományos” szerkezetű összecsukható ernyőkhöz képest lényegesen egyszerűbb és hatékonyabb tartószerkezeti modellt hozzon létre.



1. ábra Nagy méretű ernyőszerkezetek (26×26 m), Medina (www.sefar.com)



2. ábra A kompozit karok kinematikája

Az ernyőszerkezet működésének innovatív megoldása lényegesen leegyszerűsíti annak kinematikáját, mivel teljesen elhagyja a bonyolult csuklós mozgató elemeket. Az eddigi mechanikusan működő karszerkezetek helyett alkalmazott hajlított kompozit karok nyitása-zárása (2. ábra) a karok fel-le mozgásával érhető el. Ebben az esetben azonban a szerkezet nyitását a karok oldalirányú kihajlása eredményezi. A karok hajlítását pedig maga a ponyvafelület végzi. A karok meghajlításához szükséges feszítőerőket a karok irányában a ponyvafelületbe vart radiális hevedereknek kell felvenniük, így elkerülve a nyitás-zárás folyamat során a ponyvaanyag túlfeszítését.

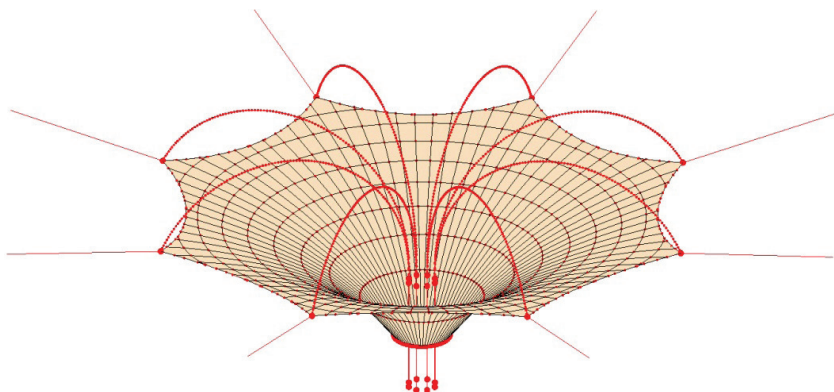
A szerkezeti rendszer lényege, hogy a ponyvatölcsér kifeszítését üvegszálás rudak biztosítják, melyek a ponyvatölcsér által meghajlítva felveszik az ernyő alakját. A hajlított üvegszálás rudak tárolt kinetikus energiája adja meg és tartja fenn a ponyvafelület feszességét, így egy önszabályozó szerkezeti rendszert hozva létre.

Az ernyőszerkezet nyitásának kezdeti szakaszában, az oszlopban lévő még egyenes karok addig emelkednek, amíg eléri a ponyvatölcsér által engedett magasságot. Amint a ponyva megfeszíti a függőleges karokat, azok elkezdnek kitérni a feszítés irányába. A kompozit rudak további emelésével, azok egyre jobban kihajlanak az oszlop tengelyéből mindaddig, amíg végeik vissza nem hajlanak, és kifejtik a ponyvatölcsér végleges alakjának eléréséhez szükséges vízszintes irányú erőket.

A kompozit rudak mozgásának irányítását és merevítését az oszloptengelyen elhelyezett csigák végzik, melyek lehetővé teszik a rudak akadálymentes futását és csökkentik a hajlítás során fellépő súrlódást.

2. Alakmeghatározás

A szerkezet alak-meghatározása meglehetősen bonyolult feladat, mivel össze kell hangolni a hajlított karok elasztikus tulajdonságait a membránfelülettel, és figyelembe kell venni a kölcsönhatásukból adódó alakváltozásokat. A cél az, hogy a hajlított üvegszálás karok elasztikus alakváltozási energiája hozza létre, és tartsa fenn a ponyvafelület előfeszítését, és így egy egyensúlyban lévő, önmagát szabályzó szerkezet jöjjön létre (3. ábra).



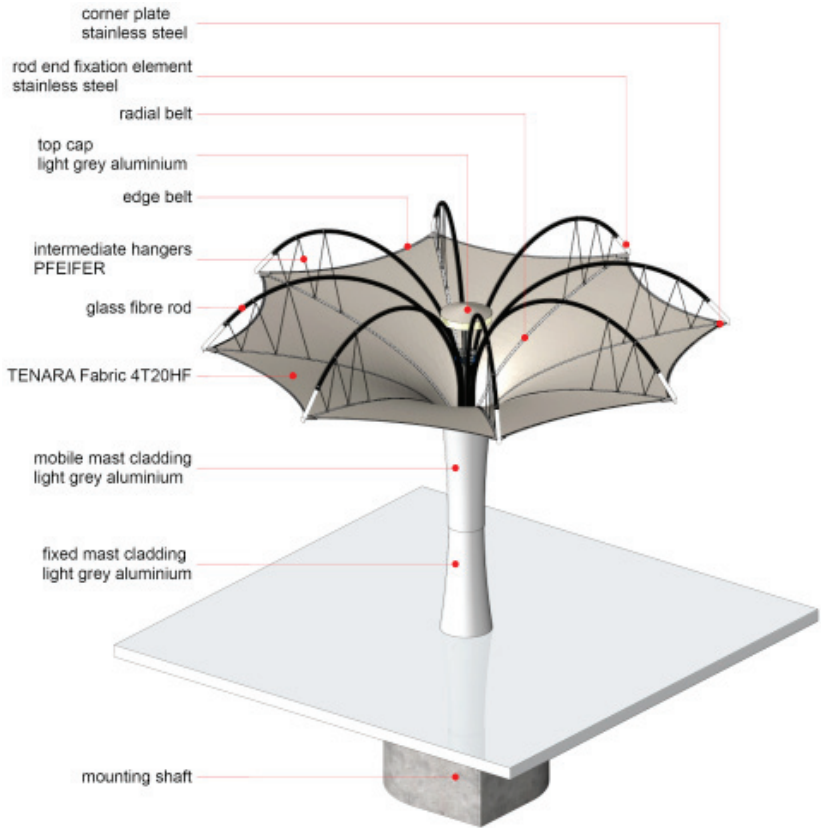
3. ábra Alakmeghatározás EASY szoftverrel

A membrán alak-meghatározása numerikus módon történik, figyelembe véve a karokra ható befolyásoló tényezőket és az esztétikai szempontokat. A karok alakjának meghatározása során elsődleges szempont, hogy az általuk kifejtett erők megegyezzenek a membránfelület kifizetéséhez szükséges erőkkel, mivel a ponyvatölcsér csak így nyerheti el nyitott egyensúlyi állapotát. A karok, a ponyvaerők vektorainak oszloptengelyben lévő metszéspontjában történő megtámasztása elősegíti a kar által kifejtett erő irányának kontrolálását, ugyanakkor segíti a karok stabilitását szélteher esetén is. A hajlított kar hosszát és annak hajlati magasságát az anyag merevsége határozza meg, amit össze kell hangolni a ponyvát kifizítő erő nagyságával. Ugyanakkor figyelembe kell venni, hogy ez csak a terheletlen egyensúlyi állapot esetén elegendő és meg kell vizsgálni terhelt állapotban fellépő alakváltozások hatásait is.

3. Az ernyő működési elve

Az új típusú ernyőszerkezet egyik legfőbb előnye, hogy kiváltja a bonyolult csuklós karok alkalmazását és lehetővé teszi a ponyvafelület elegáns összehárását. Mindezek mellett a hajlított tartószerkezet egy, a könnyűszerkezetek alapelveihez közelebb álló alternatívát kínál.

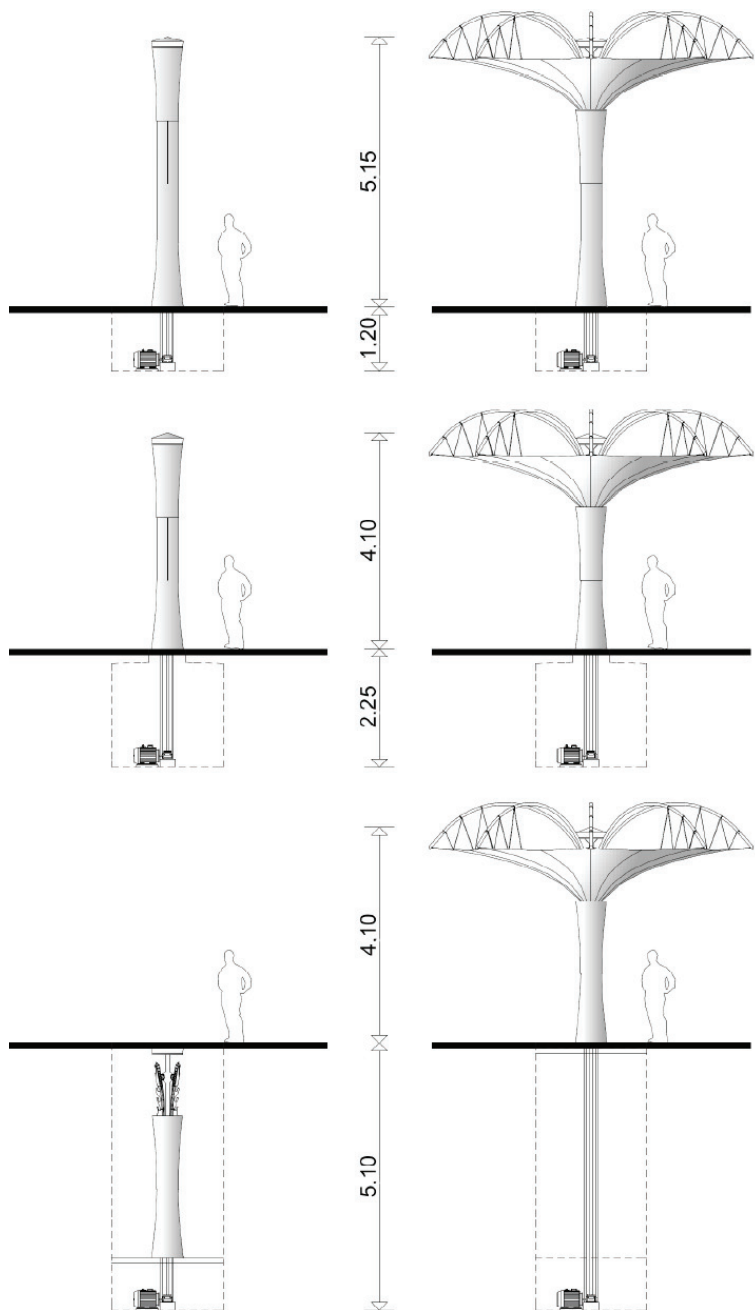
Az ernyő tartóárbocának kialakítására és a hajlított karok oszlopba való behúzására többféle megoldása lehetséges (5. ábra). Mivel a hajlított rudak egyes hosszának el kell férnie az oszlopban, ezért az oszlopnak elég magasnak



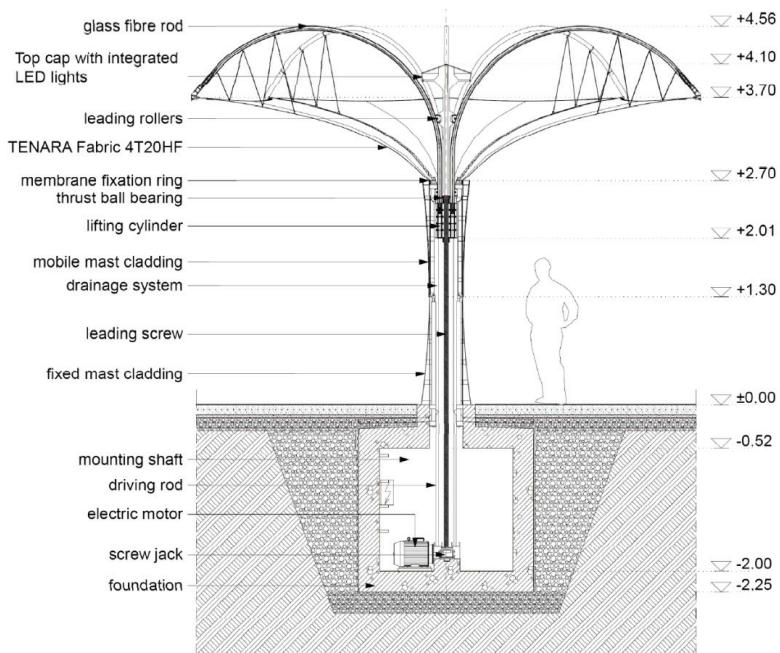
4.ábra Az ernyő részei

kell lennie ahhoz, hogy be tudja fogadni az egyenes karokat. Amennyiben az így kialakított árbc magassága túllépi a kívánt mértéket, lehetőség van a rudak további süllyesztésére, az erre a célra kialakított talajszint alatt lévő aknába. Ezzel a megoldással akár az ernyő teljes egésze is a talajszint alá süllyeszthető.

A szerkezet emelőrendszere megegyezik a „hagyományos” szerkezetű ernyőkével. A karok emelését itt is az oszlopban elhelyezett csavarorsós emelő biztosítja. Viszont a hagyományos ernyőktől eltérően, melyeknél az emelés magassága a nyitás zárás technológiájából adódóan viszonylag rövid, a hajlított karos ernyőnél az emelés magassága szinte megegyezik az egyenes karok hosszával. Mivel az emelés magassága meglehetősen nagy, ezért ahhoz hogy a szükséges emelési magasság biztosítható legyen túlzottan magas oszlop ki-



5. ábra Összecsukási variációk



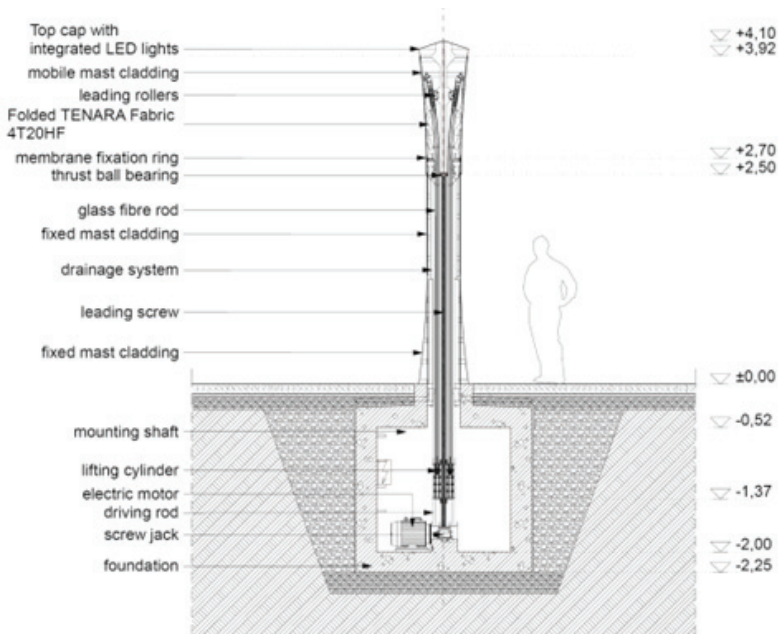
6. ábra Metszet nyitott állapotban

alakítása nélkül, az emelőhenger a talajszint alatt kialakított szerelőaknába tud süllyedni. Az emelőhenger vezetését az orsós emelő tengelye mellett 4 db tömör acélrúd is segíti, melyek az oszlop merevítésében is szerepet játszanak. A talajba süllyesztett szerelőaknában lehetőség nyílik a csavarorsós emelő, az azt meghajtó elektromos motor és a vezérlőegység kapcsolószekrényének elhelyezésre (6. ábra.). A szerelőakna egy kinyitható aknafedélén keresztül hozzáférhető, így az aknában elvégezhetőek a szükséges karbantartási munkák.

A ponyvatölcsér szájának rögzítését szolgáló acél gyűrű a merevítő lemez tetején kerül rögzítésre, a benne elhelyezett vezető görgőkkel együtt, melyek az üvegszálak akadálymentes futását biztosítják. Az oszlopfőben lévő merevítő lemez tetejéről indul az ernyő felső sapkájának tartótengelye, melyen a rudakat megtámasztó vezetőgörgők is körkörös elhelyezésre kerültek. Az ernyő kinyitásakor a csavarorsós emelő forgása által az emelőhenger felemelkedik, és kitolja az oszlopból az addig egyenes rudakat. Az emelési folyamat során a ponyvafelületbe vart radiális hevederek húzzák vissza és hajlítják a rudakat, melyek így elnyerik végső nyitott alakjukat.

Az ernyő összecukott állapotában a rudak kiegyenesedve az oszlop belsejében helyezkednek, a karok által visszahúzott ponyvafelület pedig az oszlop-főben kerül összehajtásra. A ponyvatölcsér összehajtását és elrejtését az oszlop mozgatható tölcérszerű része biztosítja. A karok és a ponyva visszahúzása után a mozgatható oszlopburkolat felemelkedve összehajtja és elrejt a ponyvatölcsért. Az oszlopburkolat mozgását hidraulikus henger biztosítja.

Az ernyő tervezése során az egyik legnagyobb nehézséget a szerkezet működéséhez szükséges elemek oszlopon belüli elhelyezése okozta. Építészeti szempontból a lehető legkarcsúbb oszlop kialakítás a célszerű, ugyanakkor az emelő berendezésen kívül az oszlopban el kell helyezni a vízvezető rendszert és a ponyvát elrejtő oszlopburkolat mozgatásához szükséges elemeket is. A vízvezető rendszer az oszlop teljes magasságában végighalad, és az oszlop elkeskenyedő részén is biztosítani kell az emelőhenger akadálymentes mozgását. Ezért a lefolyórendszer 4 db kisebb keresztmetszetű csőre van bontva, melyek közvetlenül az emelőhenger mellett futnak. A lefolyócsövek az oszlop alapjáig futnak, és a talajszint alá érve oldalirányban elvezetésre kerülnek.



7. ábra Metszet zárt állapotban

A tartóoszlop másik összetett része az oszlopfő, ahol a ponyvatölcsér rögzítése mellett el kell helyezni a csavarorsós emelő tengelyét és a vezető rudakat rögzítő lemezt, az üvegszálás rudakat vezető görgőket, valamint a csapadékvíz-gyűjtő tölcserét.

Az ernyő fedősapkáját tartó kiegészítő árboc egy tömör körszelvényből áll, melyet a rögzítő lemezből kiinduló diafragmák merevítenek sugárirányban. A kiegészítő árboc felső harmadában van elhelyezve a vezető görgők következő sora melyek az üvegszál rudak megtámasztását végzik a ponyvát kifeszítő vektorok irányában. A fedősapkában kerül a körkörösén elhelyezett LED izzók sora alkotta világítás. Az ernyő csukott állapotában a fedősapka által az árboc világítótestként funkcionál, nyitott állapotban pedig a ponyvatölcsért megvilágítva kellemes fényhatást biztosít (7. ábra) az ernyő alatt.

4. A szerkezetet érő terhek

Az összecsucukható ernyők terhek alatti viselkedése és annak számítása meglehetősen bonyolult. Figyelembe kell venni a szerkezet és ponyva közötti kölcsönhatásokat és az alakváltozásokat. Ezért az ilyen szerkezetek tervezése rendszerint hosszadalmas optimalizációt igényel a tökéletes összhang megtalálásának érdekében. A sáterszerkezeteket általában szél és hőteherre méretezzük, ebben az esetben is ez a két teher a mérvadó.

Szélteher

Az összecsucukható ernyőszerkezetek rendkívül érzékenyek a szélterhelésre. Mivel a szerkezetek rendszerint hosszú konzolos karokkal készülnek, ezért nem képesek ellenállni a viharos erejű szeleknek. A fellépő turbulenciák jelentős háttással lehetnek a szerkezetre, mert az azok keltette vibrációk akár a szerkezet törését is okozhatják. Ezért a turbulenciák modellezése és számítása elkerülhetetlen a szerkezet tervezésénél. A nagyobb szélhatások kivédésére rendszerint szélsősebesség mérőket alkalmaznak, melyek jelzik a megnövekedett szélertőt és beindítják az ernyő összecsucukását. Viszont a szenzorok jelzésénél a szélhatás már megtörtént, tehát a szerkezeteknek bizonyos mértékig állékonyak kell lenniük. Szélteher esetén a legkritikusabb pont (8. ábra) az ernyő összecsucukás,



8. ábra Hagyományos szerkezetű ernyők összecsukása enyhe szélben

mivel ilyenkor megszűnik a ponyva feszítése és az szabadon ki van téve a szélnek. Szélteher esetén a hajlított karos szerkezet előnye lehet, hogy összecsukáskor a rudak mindaddig feszesen tartják a ponyvát, ameddig azok kiegyenesednek, így az összecsukás folyamatának lényeges részén a ponyva viszonylag stabil marad. A karok feszítőerejének elég nagyoknak kell lennie ahhoz, hogy képesek legyenek felvenni a szélterhek okozta erőket is, vagyis a feszítőerőknek nagyobbak kell lenniük a ponyva kifeszítéséhez szükséges erőnél. A hajlított karok és a ponyvafelület közötti együttdolgozást a ponyva peremébe és a ponyva felületébe vart radiális hevederek segítik. A peremhevederek gyűrűként viselkedve átadják a terheket a szomszédos karoknak, ezáltal a karok és a ponyvafelület szerkezeti egységként működik szélteher esetén is.

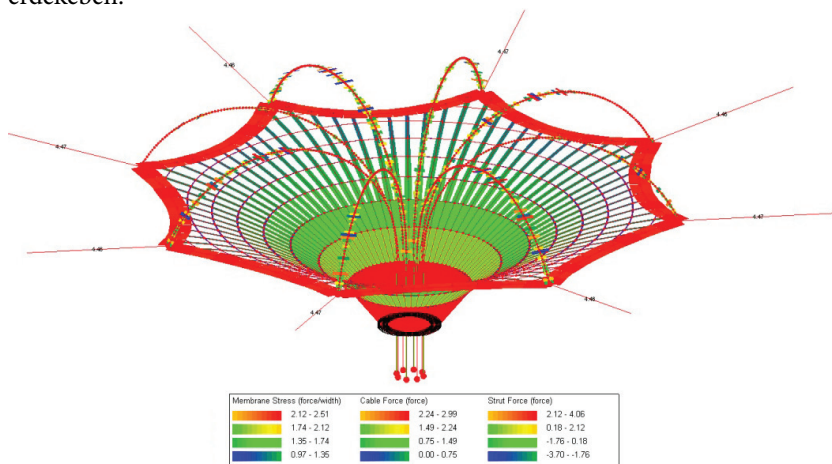
Hóteher

Az összecsukható ernyőszerkezetek esetében a hóteherre való méretezés ugyan lehetséges, de mivel a tölcsér alakú ernyő alakjából következően összegyűjti a havat ezért gyakorlatilag nincs értelme. Olyan területeken, ahol hóteher is jelen van, különösen fontos a szerkezet megóvása a hó lehetséges felgyülemlése ellen, mivel a mozgatható karszerkezetek bizonyos határ felett nem képesek azt elviselni. Lehetséges megoldásként szóba jöhet az ernyő fűtése, ami felolvasztja a felgyülemlett hó mennyiségét és elvezeti az oszlopban kialakított esővízgyűjtőben, vagy havazás esetén az ernyőt azonnal össze kell csukni. Amennyiben az ernyő összecsukása nem történik meg időben, előfordulhat, hogy a felgyülemlett hó következtében azt már nem lehet összezárni és ez az ernyő tönkremeneteléhez vezet.



9. ábra Hóteher hatására tönkrement szerkezet

A fenti képen (9. ábra) látható példa jól mutatja a váratlan hóteher esetleges következményeit. A felgyülemlett hó mennyiség következtében leszakadt ernyőn jól megfigyelhető, hogy az eredetileg egyenes tartókarok is meghajlottak a teher alatt. Az így bekövetkezett káresemény mindenképpen az üzemeltető hibája, mivel nem zárta össze az ernyőket a havazás kezdetekor. A szélteherrel ellentétben, ami gyakran hirtelen fellépve jelentkezik, a hóteherre fel lehet készülni, és időben meg lehet tenni a szükséges lépéseket a szerkezet védelme érdekében.



10. ábra Az ernyő feszültségábrája (EASY)

A hajlított karos ernyőszerkezet esetében előnyös lehet a karoknak azon tulajdonsága, hogy a hőteher következtében azok nagyobb görbületi sugarat vesznek fel, ezáltal megnövelve a ponyvatölcsér feszítését. Ugyanakkor az ilyen típusú ernyőt sem célszerű nyitott állapotban hagyni havazás esetén.

5. Prototípus modell

A fizikai modell felépítése és működési elve szinte teljes egészében megegyezik a tervezett ernyőszerkezet felépítésével. Ez alól kivétel, hogy az üvegszálás rudak vezető görgői a lépték miatt nem kerültek beépítésre. A modell 1:10-es léptékben készült, ernyőjének átmérője 60 cm. A szerkezet nyitását-zárását az oszlopban elhelyezett menetes szár forgása biztosítja, mely csavarorsós emelőként fel-le mozgatja az emelőhengert. A hengerben rögzített üvegszálás rudak ellentétes vége a ponyva sarokpontjaihoz vannak rögzítve, melyek az emelőhenger feltolása következtében a ponyvafelület által megfeszítve visszahajolnak és kifeszítik a ponyvatölcsért végleges alakjára. A modell tartóoszlopa 4 db „L” profilból van elkészítve mely, amellet hogy biztosítja a ponyvatölcsér szájának rögzítését, az emelő henger forgását is gátolja, ezáltal lehetővé téve annak emelését. A ponyvatölcsér és az üvegszálás rudak kapcsolatát a ponyva sarokpontjaiba vart tasakok biztosítják. A ponyvatasakokba csúsztatott üvegszálás rudak stabilitását a ponyvafelület és a tasakok között lyukperemesen rögzített közbenső függesztő kötelek biztosítják. A hajlított rudak optimális hosszának megállapításához, azok hossza módosítható a modellen.

A rudak állíthatóságát az emelőhengeren rögzített szorítóbilincs szolgálja. A modell kísérletek során 3 mm átmérőjű üvegszálás és szénszálás rudak voltak alkalmazva 50-90 cm hosszakban.

A fizikai modell ernyőjének nyitása az addig az oszlopban rejlő egyenes karok emelésével kezdődik. A karok mindaddig egyenes állapotban emelkednek, amíg azokat az oszlopfőhöz rögzített ponyvatölcsér meg nem megfeszíti. A ponyvafelület által kifejtett feszítés a rudak oldalirányú kitérését eredményezi. Miután a rudak emelése eléri a ponyva által engedett magasságot, azok további emelése a rudak visszahajlását okozza. A visszahajlott rudak oldalirányban tovább feszítik a ponyvafelületet, ami ez által elnyeri végleges tölcsérszerű alakját. A szerkezet összecukása a nyitás folyamatával megegyezően fordított sorrendben történik.

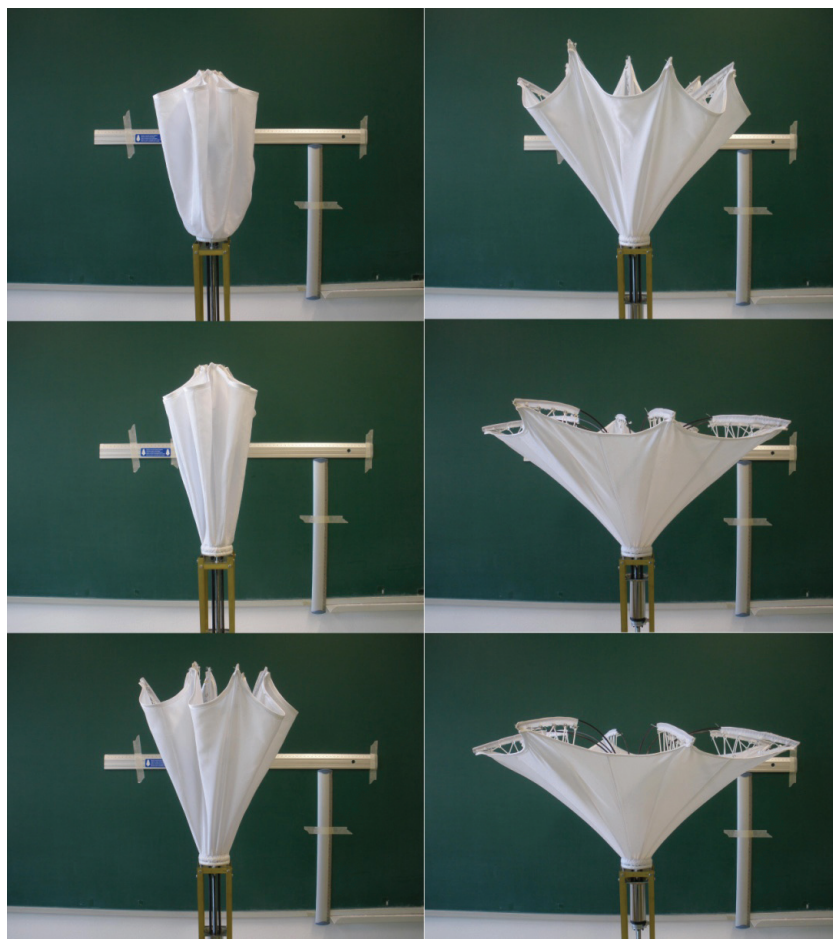


11. ábra Fizikai modell

A különböző merevségű és hosszúságú karok szimulálására a modellben üvegszálás és szénszálás rudak voltak kipróbálva. A szénszálás rudak nagyobb merevsége sajnos több esetben a rögzítő tasakok szakadását okozták, ezért a feszültség csökkentésére a rudak hossza meg lett növelve. A túlzottan hosszú rudak viszont hajlamosak kitérni a kívánt irányból, ezáltal a ponyvatölcsér megcsavarodását vagy a rudak összefonódását okozva. A megcsavarodás kiküszöbölésére megoldást nyújthatnak a rudakat vezető görgők, melyek mellett, hogy megakadályozzák a rudak kitérését, az azok által a ponyvára kifejtett erő irányát is kedvezően befolyásolják.

A ponyvatölcsér alakjának megtartásához különösen fontos, hogy a hajlított tartószerkezet megfelelő irányba fejtse ki a feszítőerejét a ponyvára. Amennyiben a ponyvatölcsér magassági mérete aránylag alacsony, a kifeszítéséhez szükséges erők iránya is közelebb van a vízszintes vonalhoz, aminek felvételét a hajlított tartószerkezet megfelelő görbületi sugarával és megtámasztásával érhetjük el.

A modell építése során felhasznált anyagok, úgymint a ponyvafelületként használt szőtt anyag és az üvegszálás rudak, tulajdonságai nem konvertálhatóak a valós méretű ernyő szerkezeti tulajdonságaihoz. Az eltérést egyrészt a lépték torzítása, másrészt a megfelelő merevségű hajlított rudak kiválasztásának problémája okozza. Ezért a ponyvatölcsér előfeszítése valószínűleg nem éri el a szükséges értéket, és a fizikai modellen elvégzett tesztek sem teljes mértékben fedik a valóságot. Viszont fényt derítenek a szerkezet terhelés alatti viselkedésére.



12. ábra A nyitás-zárás folyamata

A valós méretű szerkezetnél a rudak tulajdonságai a kompozitok gyártási technológiájának köszönhetően precízen megtervezhetőek, így azok merevsége és keresztmetszete a szerkezet igényeihez igazíthatóak.

A szerkezet viselkedésének tanulmányozásához néhány egyszerű terhelési teszt volt elvégezve. A modell egy-egy karjának vízszintes és függőleges irányú terhelése biztató eredményeket mutat, mivel a karok jelentős alakváltozása esetén sem jelentkeznek jelentős gyűrődések a ponyvafelületen. A tesztek eredményéből az a következtetés vonható le, hogy a szerkezeti egységet érő nagymértékű szélterhelés a ponyvatölcsér és a rudak oldalirányú billenését okozhatja. A ponyvatölcsér a virág szirmaihoz hasonlóan elmozdul a szélben és az alakváltozások által képes elviselni a terheket, azok megszűntével pedig visszaáll az egyensúlyi állapotba.

6. Konklúzió

A munkában bemutatott összecukható ernyő újszerű szerkezete egy működőképes alternatívát kínál az ernyők építészeti és mérnöki kialakítására. A munka legfőbb eredménye, hogy egy olyan megoldást mutat be, ami tartószerkezeti szempontból sokkal közelebb áll a könnyűszerkezetek alapelveihez és összhangban van a membrán felület flexibilitásával. Az új tartószerkezeti modell legfőbb előnye, hogy a flexibilis tartókarok hajlítása feszíti az ernyőt nyitott alakjára, a hajlított karok és a membránfelület kölcsönhatása pedig stabilizálja a szerkezeti rendszerüket. A karok hajlításából eredő természetes forma ugyanahhoz a tiszta szépséghez vezet, mint a szappanhártya által létrehozott minimálfelület a ponyvaalak meghatározásánál.

References

- [1] Jan Knippers, Jan Cremers, Markus Gabler, Julian Lienhard (2010): Atlas Kunststoffe und Membranen
- [2] Frei Otto, Diter Blümel, Rainer Graefe, Jürgen Henicke, Uta Pankoke, Hans-Joachim Schock, Jörg Wagner (1972): IL 5 Convertible Roofs
- [3] Jan Knippers, Jan Cremers, Markus Gabler, Julian Lienhard (2011): Construction manual for polymers + membrane

Állapotelemzésen alapuló felújítási és bővítési javaslatok 1950-es, 1960-as években épült győri középiskolák épületeire

Horváth Tamás egyetemi tanáregéd
Széchenyi István Egyetem, Építészeti és Épületszerkeztetani Tanszék
htms@sze.hu

DOI 10.18134/SZE-EET.2015.3

A meglévő épületekkel kapcsolatos építészeti feladatok megjelenése az oktatásban

Folyton változó világunkban az építész szerepe és feladatai is változnak. Feladataink megoldása során néhány éve kiemelt figyelmet fordítunk az energia- és környezettudatosságra, az egyedi problémák vizsgálatakor újra és újra elgondolkodunk a fenntarthatóság céljain, jelentéstartalmán, megvalósíthatóságán. Mindezekkel összefüggésben nem csak a feladatok megközelítési módja változott meg, hanem a feladatok jellege is. Az elmúlt években jelentős mértékben megnövekedett a meglévő épületállománnyal kapcsolatos építészeti tervezési feladatok aránya úgy, mint az ilyen épületek felújítása, átalakítása, bővítése, funkcióváltása, korszerűsítése stb. Azzal, hogy a meglévő épületek értéke (társadalmi megbecsültsége) megnőtt, megtartásuk, fenntartásuk igénye is fokozódott. Az ilyen tervezői feladatok ellátása sokszor mélyebb szaktudást és nagyobb gondosságot igényel, mint egy zöldmezős, új épület megtervezése csupa korszerű szerkezettel.

Minderre természetesen az építészképzés is reagált. Érdekes volt megfigyelni például, hogy a Széchenyi István Egyetem építész képzéseiben, a gyakorlati tárgyak tervezési feladatai és a választott diplomamunkák között, hogyan jelentek meg a meglévő épületekkel kapcsolatos tervezési munkák. Tíz évvel ezelőtt egy

diplomaterv még csak új épület terve lehetett. Mára pedig oda jutottunk, hogy a diplomatervek mintegy fele valamilyen meglévő épülettel (is) foglalkozik. Ezzel párhuzamosan mikor 2009-ben a BSc képzés helyi folytatásának biztosítását célozva akkreditáltattuk a szerkesztetvező építészmérnök mesterszakot (MSc) a kidolgozott tantervben (Koppány-Fátrai-Horváth, 2009) jelentősebb szerepet adtunk a meglévő épületekkel és a fenntartási építéssel kapcsolatos építészeti és épületszerkezeti tervezési feladatoknak (Kőrössi-Horváth, 2010).

Az építész MSc szakon az Építészeti és Épületszerkezettani Tanszék gondozásában fut két olyan tantárgy melyeknek gyakorlati kurzusain a hallgatók évről évre egy-egy meglévő épülettel, épületegyüttessel ismerkedhetnek meg. E feladatok betekintést engednek nekik a meglévő épületek problémáinak komplexitásába, a tervjavaslatok elkészítésekor pedig megpróbálkozhatnak mindenre kiterjedő megoldást nyújtani a felmerülő problémákra és a használok egyéb igényeire.

A Gyakorlati épületfizika című tárgy (tantárgyfelelős Tóth Péter PhD) célja az épületekkel kapcsolatos hő- és páratechnikai, akusztikai és tűzvédelmi problémák áttekintése, mely témák között kiemelt szerepet kap az épületenergetikai tanúsítás. A hallgatók a mesterképzés első félévében a gyakorlati kurzuson egy iskola épületével foglalkoznak csoportokba szerveződve. Először fel kell dolgozniuk és értelmezniük kell az épületről rendelkezésre álló rajzokat, ezzel megismerkednek az épület jelenlegi állapotával, majd szakvéleményt kell készíteniük az épületről. A szakvélemény tartalma általában:

- Legjelentősebb része a hő- és páratechnikai elemzésen alapuló épületenergetikai tanúsítás, melyet termografikus vizsgálat egészít ki.
- Foglalkozik az épület akusztikai tulajdonságaival, a meglévő szerkezetek hangszigetelő képességét vizsgálva a külső és belső zajok ellen, és az egyes helyiségek teremakusztikájával is.
- Áttekinti az épületre és szerkezeteire vonatkozó tűzvédelmi szabályozást és irányelveket, feltárja az épület hiányosságait.

A hallgatók a mesterképzés második félévében az Épített környezetünk című tárgy gyakorlati kurzusán tovább foglalkoznak a korábban szakvéleményezett iskola épülettel. Az Épített örökségünk és Épített környezetünk tárgy egy két féléves történeti szerkezettan témát feldolgozó tárgy (tantárgyfelelős







Fátrai György PhD). A második félév elméleti anyagához gyakorlat is kapcsolódik, melynek keretében egy meglévő épület korszerűsítését, felújítását, szükség esetén bővítését kell megtervezniük csoportmunkában. A félév rendszerint az iskolaépülettel kapcsolatos igények átbeszélésével kezdődik, a hallgatók különböző témák szerint vizsgálják meg az épületet, részben az előző féléves szakvéleményekre alapozva. Az állapotelemzésben megvizsgált szempontok általában:

- az épület építészeti értékei egykor és most;
- funkcionális kialakítás, megfelelőség és a használók jelenlegi igényei;
- akadálymentes használat lehetősége;
- épületszerkezetek állapota, szemrevételezés alapján;
- épületenergetika;
- épületakusztika;
- tűzvédelem.

Az állapotelemzés eredményei alapján a csoportok egy-egy tervezési programot dolgoznak ki, melyben célokat tűznek ki maguk elé, hogy az egyes felmerülő problémákra milyen mértékben kívánnak majd reagálni. A félév közepétől már tervekben megfogalmazott megoldásokról folyik a diskurzus. Először egy vázlattevé készül el, majd a vázlattevé alapján ráközelítünk a konkrét szerkezeti problémákra, végül a tanulságokat összegyűrva egy-egy részletterveket (pl.: falmetszeteket) is tartalmazó tervjavaslat születik meg minden csoport munkájának eredményeként.

Az 1950-es, 1960-as években épült győri középiskolák épületei

Az leírt módszeres állapotelemzéshez és a felújítási, bővítési tervek kidolgozásához olyan épületállományt kerestünk, mely alkalmas a sokrétű elemzésre és melynek jövőbeni megújítása előttünk álló feladat. Így a kidolgozott vélemények és javaslatok akár még az épületek valós megújulásához is hozzájárulhatnak, ami egyrésztől motiválja az intézményeket a munkánk támogatásában, másrésztől a hallgatókat a gondos munkavégzésben. Az iskolaépületekre fentiek kiemelten igazak, legtöbbjük esetében minden felsorolt témakörben találhatunk megoldandó feladatokat.

Feladat tanéve	2010/11	2011/12
Iskola jelenlegi neve (rövid név kiemelve)	Hild József Építőipari Szakközépiskola	Bercsényi Miklós Közlekedési és Sportiskolai Szakközépiskola és Szakiskola
Címe	Győr, Szent István út 1.	Győr, Cinka Panna u. 2.
Korabeli kép	 (Hartmann, 2014)	 (Winkler, 2012)
Aktuális kép	 (Nagy, 2013)	 (Hartmann, 2012)
Vezérszínti alaprajz (azonos léptékben, cca. 1:2500)	 (Gergely-Kuruc-Pálla, 2011)	 (Dohanek és tsi, 2012)
Építész tervező(k)	Fátay Tamás (1926-2008), Ágostházné Éva, Sebők Tibor	Cserhalmi József (1922-2005); Winkler Gábor (1941-2015)
Tervezés és kivitelezés ideje	1956-57, 1958-62	1953, 1955-56
Bővítések, átalakítások	1973: új oktatási szárny; 1991: tornaterem	1969: tanműhely; 1975: tornaterem; 1984: tanterem; 1994: garázssor
Beépített alapterület	1729 m ²	5120 m ²
Szintszám	4, 3, 2	3, 2, 1, 4, 1
Tantermek száma jelenleg	25 db	58 db
Szerkezeti rendszer (főépületnél)	hosszfalás, ikersejt téglafalazat, gerendás-tálcás födém	hosszfalás, kettős méretű téglafalazat, Bohn födém
Homlokzatképzés (főépületnél)	travertin kőlap és mázas kerámia burkolat, kőporos vakolat	klinkertégla burkolat, műök ornamentikával

1. táblázat A vizsgált épületek párhuzamos bemutatása (42-43. oldal)

2012/13

2013/14

2014/15

Lukács Sándor Mechatronikai és
Gépészeti Szakképző Iskola és
Kollégium

Baross Gábor Közgazdasági és Két
Tanítási Nyelvű Szakközépiskola

Győri Tánc-és Képzőművészeti
Általános Iskola, Szakközépiskola
és Kollégium

Győr, Mártírok útja 13-15.

Győr, Bem tér 20-22.

Győr, Szabolcska Mihály utca 5-6.



(Hartmann, 2012)



(Hartmann, 2013)



(Hartmann, 2013)



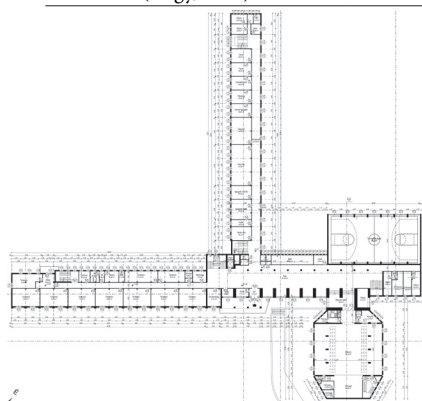
(Nagy, 2013)



(saját fotó)



(Hartmann, 2013)



(Balázs és tsi, 2013)



(Fekete és tsi, 2014)



(Árpási és tsi, 2015)

Rimanóczy Gyula (1903-1958)

Hegedűs Ernő (1921-1990)
Lados Péter, Németh PéterHarmati János (1926-),
Papp Lukács, Ambrus Zoltán

1950, 1951-53

1961-62, 1962-64

1962?, 1962

1961: tornaterem

1986: négy szint tanterem; 1997:
nagyterem; 1999: emeletráépítés

1988: két balett-terem

7541 m²2088 m²1700 m²

6, 4, 2, 1

5, 2, 1

4, 3, 2, 1

51 db

31 db

25 db

hosszvázas, kettős méretű
téglafalazat, Bohn födémhosszfalas, kettős méretű
téglafalazat, Bohn födémhosszvázas, ikerejt téglafalazat,
gerendás-talcás födémklinkertégla burkolat,
műkö ornamentikávalklinkertégla, mészkő lap,
mázás kerámia burkolat, vakolattravertin kőlap burkolat,
kőporos vakolat

Győrben mintegy 45 óvoda, 30 általános iskola és 30 középiskola üzemel, változó intézményi háttérrel és olykor épületállománnyal (GyőrMJV, 2015), így az esettanulmányok tárgya még hosszú évekig biztosítható. Az épületállomány egyedeinek kora természetesen erősen szór, vannak több száz éves, és egészen új néhány éves épületeink is, nem beszélve a részben vagy egészben felújított, esetleg bővített épületekről. Az épületállományból azért választottuk elsőként az 1950-60-as évek épületeit, mert ennek a korszaknak a győri iskolaépületei építészeti és értékesek, épületszerkezeti szempontokat tekintve pedig egy különösen izgalmas korszakban, a hagyományos technológiákat leváltó iparosított építés korának kezdetén születtek.

A témaválasztás indoklásakor megjegyzendő még, hogy 2011 januárja és 2013 októbere között tanszékünk részt vett az ATRIUM című európai uniós projektben, melynek témája a totalitárius rezsimek építészeti örökségének turisztikai hasznosítása volt, mely témakör alatt hazánk esetében főként a szoc-reál építészeti alkotásait kutattuk, kiemelten kezelve a korszak győri építészeti alkotásait (Winkler, 2012).

„A második világháború utáni évtizedek különböző lakásépítéseihez ún. »járulékos beruházásként« mindig közvetlenül kapcsolódott az alap- és közép-fokú intézményrendszer valamilyen mértékű kiépítése. A korszak építészeti történései így nem csak a lakóépületek, hanem például az oktatási intézmények alakításában is tükröződnek.” E sorokkal vezet be Hartmann Gergely cikkét (Hartmann, 2013), melyben az 1950-60-as években épült győri iskolákról ír az általa feldolgozott források alapján. A cikkben mind az öt az elmúlt években általunk megvizsgált épület említésre kerül. Az épületekkel kapcsolatos legfontosabb tudnivalókat az 1. táblázat (42-43. oldal) összegzi (Szőke, 2015.).

Az állapotelemzés eredményei

Az épületek jelenlegi állapotának felmérése és az állapotörögztítés a felújítási bővítési tervek elkészítésének elengedhetetlen előzménye. A féléves feladatokban a hallgatók 1:200-as léptékű állapotörögztítő terveket készítettek minden épületegyüttesről, mely egyrészt segíti a szakvéleményezést, másrészt a felújítási és bővítési tervek alapanyagául is fog szolgálni. Sajnos az egyetemi féléves gyakorlati feladatok kerete nem engedi meg, hogy ezek a tervek részletes, min-

denre kiterjedő helyszíni felmérésen alapuljanak, így általában a rendelkezésünkre álló levéltári, vagy irattári tervek aktualizálásai készülnek el a helyszíni bejáráson tapasztalt változások átvezetésével. A helyszíni bejárásokkor alkalmat keresünk arra is, hogy információkat kaphassunk az épületek üzemeltetési tapasztalatairól, melyek felhívhatják a figyelmünket az épületek építészeti, épületszerkezeti és gépészeti hiányosságaira. A nyilvánvaló hiányosságokon túlmenően rá szoktunk kérdezni arra is, hogy milyen új funkcióknak szeretnének helyet teremteni az épületekben.

A vizsgálódás eredményeit a hallgatók a tankör előtt tematikusan prezentálják, gondolatébresztő jelleggel. A kialakuló diskurzus eredményeként a hallgatói csoportok egyedi tervezési programokat tudnak kialakítani. Az állapotelemzés metódusa az évek során fokozatosan finomodott, ahogy ez a 2. táblázatban is megfigyelhető, mely az egyes épületekre vonatkozó főbb észrevételeket öszszegzi.

Mint látható az állapotelemzésben az 50-60 éves épületeket az éppen aktuális követelmények szerint vizsgáljuk. Szinte természetes, hogy az épületek nem felelnek meg minden tekintetben, mivel a műszaki követelmények, különösen az épületenergetika és a tűzvédelem területén, az elmúlt évtizedekben jelentősen átalakultak, de hasonló szigorodást figyelhetünk meg funkcionális területen is, ha az akadálymentes használat követelményére gondolunk, vagy áttekintjük az iskolaépületekre vonatkozó hatályos szabványokat. A követelmények még az elmúlt öt évben is szigorodtak, ahogy ezt a 2. táblázat (46-49. oldal) első oszlopában szerepeltetett, a vizsgálatok módszertani és hivatkozási alapját képező források, jogszabályok és szabványok változásai is jól mutatják. Fentiek értelmében a 2014/15-ben vizsgált iskola esetében az épületenergetikai követelmények teljesülését már a (7/2006. TNM) rendelet módosításába foglalt költségoptimalizált követelményértékei szerint, a tűzvédelmi megfelelőségét pedig az (54/2014. BM) rendeletbe foglalt OTSZ 5 alapján állapítottuk meg.

Megjegyzendő, hogy az itt összefoglalt vizsgálatok konzultációval kísért hallgatói munkák, így a hivatkozott „szakvélemények” tartalma csak megfelelő forráskritikával kezelhető, értelmezhető. A vizsgálatok fő célja az épületszerkezeti szakértői feladatokba való betekintés volt, melynek mélységét erősen befolyásolhatta az egyes hallgatók feladat iránti elkötelezettsége és motiváltsága is. A konzultációk során törekedtünk a vizsgálati módszerek és eredmények szakszerűségét a lehető legnagyobb mértékben elősegíteni.

Iskola rövid neve	Hild József Szakközépiskola	Bercsényi Miklós Szakközépiskola
Építészeti értékek például (Cságoly, 2014), (Ágostházi, 2003) és (Román, 2004) alapján	főépület alaprajzi szervezése, közlekedési rendszere; utcafronti travertin mészkővel és mázas kerámiával burkolt homlokzatok és tömegkompozíció; a földszin- tes épületrész és a tornaterem különbözőbb építészeti értéket nem képvisel, az eredeti koncepciót nem folytatja	klasszikus arányú homlokzatok és tömegkompozíció; téglaburkolat szocreál műkő ornamentikával; a Winkler-féle bővítés még igyekszik illeszkedni a beépítés folytatásá- val és az anyaghasználattal, de a későbbi bővítések már különösebb építészeti értéket nem képvisel- nek, az eredeti koncepciót nem folytatják
Funkcionális megfeleléség a hatályos (OTÉK), az (MSZ 24203-3:2007) majd az (MSZE 24203-3:2012) alapján is	általában megfelelő; az épületek összekötésének hiánya; rendes étkező; további tantermek; jobban kihasznált udvar	általában megfelelő; szükségtan- termek a légó pincében, elégtelen belmagassággal és megvilágítással; további tantermek; lelátó a tor- nateremhez, külön megközelítési lehetőséggel
Akadálymentes használat a hatályos (OTÉK) és (Pandula, 2009) alapján is	nem akadálymentes: főbejárat előtt előlépcső, lift nincs; illemhely nincs; nem mozgássérült akadály- mentesítés nincs	nem akadálymentes: főbejárat előtt előlépcső, lift nincs, számos padlószint váltás az épületek találkozásainál; illemhely nincs; nem mozgássérült akadálymente- sítés nincs
Épületszerkezetek állapota a hatályos (OTÉK), (Bajza, 2003) és termografikus felvételek alapján	ragasztással burkolt homlokzatok felújítandók; nedvességproblé- mák az eresznél és lábazatnál; földszintes épületrészen alapozási gondokra utaló jelek; tornacsar- nok attikája repedt; rozsdásodó függönyfal; erősen hőhidas, hőszigetetlen szerkezetek	erősen hőhidas régi és új szerkeze- tek; lábazati felázások, nedves- ségproblémák; erősen hőhidas, hőszigetetlen szerkezetek
Épületenergetika a hatályos (7/2006. TNM), (176/2008. Korm.) és a WinWatt programmal elvégzett energetikai számítások alapján	szerkezetek a kicserélt ablakok kivételével nem felelnek meg; a fajlagos hőveszteség tényező [W/m ³ K] nem felel meg, $q_{\text{főépület}}=0,411 > 0,237=q_m$, $q_{\text{tornaterem}}=0,422 > 0,293=q_m$; nyári túlmelegedés megfelel; az összesített energetikai jellemző [kWh/m ² a] nem felel meg, $E_{\text{piőépület}}=158,53 > 121,75=E_{\text{pm}}$, 130%, E osztály; megújuló energiák: néhány kollektor üzemel	szerkezetek a kicserélt ablakok kivételével nem felelnek meg; a fajlagos hőveszteség tényező [W/m ³ K] általában nem felel meg, $q_A=0,335 > 0,206=q_m$, $q_B=0,750 > 0,330=q_m$, $q_C=0,681 > 0,394=q_m$, $q_D=0,233 > 0,200=q_m$, $q_E=0,566 > 0,302=q_m$, $q_F=0,159 < 0,200=q_m$, $q_G=0,811 > 0,450=q_m$; az összesített energetikai jellemző meghatározása nem történt meg; megújuló energiák: néhány kollektor üzemel

2. táblázat Az épületek állapotelemzésének eredményei (folyt. köv.)

Lukács Sándor Szakképző Iskola	Baross Gábor Szakközépiskola	Tánc-és Képzőművészeti Iskola
az északi klasszicizmus formanyelvét felhasználó jó minőségű szocreál példája; városképi érték és jelentőség; izgalmas tömegkompozíció, egységes téglalburkolat szocreál műkö ornamentikával; reprezentatív belső terek igényes belsőépítéssel; máig egységes kompozíció: nem rontották el az épületet hozzáépítésekkel, bővítésekkel; az épület műemlék	a norm alapú építés előtt született tágasabb, igényesebb épület; egyedi szerkezeti, tömeg- és homlokzatképzési megoldások; a déli homlokzat Zsolnay pirogránittal burkolt; a későbbi bővítések építészeti értékei már erősen vitathatók, az eredeti koncepciót nem folytatják, a 86-os bővítés különösen érzéketlen; egyes épületrészek találkozásai sutára sikeredtek	főépület alaprajzi szervezése, közlekedési rendszere; homlokzati arányai és tömegkompozíció; az iskola és a kollégium jól illeszkednek egy egységes beépítésbe; a bölcsődéből átalakított kollégium és a balett-terem bővítés helyiségek kapcsolatai kényszeredettek
általában megfelelő; kollégiumi szobák ellátása saját fürdőszobákkal; közösségi pihenők és tanulószobák; kollégiumi szobák árnyékolása nem megoldott	általában megfelelő; délre tájolt tanterem árnyékolása problémás; rajzterem megvilágítása csekély; hiányzik az aula, a nagyterem sem tudta ezt a funkciót megadni; kevés a tanterem; az étkező kicsi	éppen megfelelő; tornaterem és tanterem kicsik; alagsori termek; néhány kényszeredett helyiségkapcsolat; keresztforgalom az étkezőben; kevés illemhely; kollégiumi szobák árnyékolása nem megoldott
csekély mértékben akadálymentes(itett), megközelítése nehézkes, mozgalmas terep, több padlószint váltás; egy lift van; nem mozgássérült akadálymentesítés nincs	csekély mértékben akadálymentes(itett), több padlószint váltás az épületen belül; lift nincs; akadálymentes kollégiumi szoba nincs; nem mozgássérült akadálymentesítés nincs	nem akadálymentes: bejáratok előtt jelentős szintkülönbség; lift nincs; illemhely nincs; akadálymentes kollégiumi szoba nincs; nem mozgássérült akadálymentesítés nincs
a téglalburkolat helyenként sérült, a hátfaltól elvált, beázások kivirágások láthatók; vizes helyiségek mindenre kiterjedő felújítása indokolt; erősen hőhidas, hőszigetetlen szerkezetek	a délre tájolt tanterem problémásak, árnyékolásuk szűkegés, mesterséges szellőztetés (hőviszanyeréssel) jól indokolható hőtechnikai és zajvédelmi érvekkel is; beázó pince; erősen hőhidas, hőszigetetlen szerkezetek	balett-termek légzárása kritikus; nedvességproblémák: felázás, kifagyás, vakolatleválás; beázások a pincében; egyenlőtlen süllyedésből adódó repedések; tornacsarnok attikája repedt; ablakcerék utáni helyreállítás elmaradt; erősen hőhidas szerkezetek
szerkezetek a kicserélt ablakok kivételével nem felelnek meg; a fajlagos hőveszteség tényező $[W/m^3K]$ nem felel meg, $q_{kollégium} = 0,350 > 0,301 = q_m$, $q_{oktatási} = 0,524 > 0,232 = q_m$, $q_{atterem-tornaterem} = 0,275 > 0,217 = q_m$; az összesített energetikai jellemző meghatározása nem történt meg; megújuló energiák: nincs ilyen hasznosítás	szerkezetek a kicserélt ablakok kivételével nem felelnek meg; a fajlagos hőveszteség tényező $[W/m^3K]$ nem felel meg, $q_{főépület} = 0,316 > 0,216 = q_m$, $q_{melléképületek} = 0,324 > 0,217 = q_m$; nyári túlmelegedés: kritikus a déli tájolás miatt; az összesített energetikai jellemző meghatározása nem történt meg; megújuló energiák: nincs ilyen hasznosítás	szerkezetek a kicserélt ablakok kivételével nem felelnek meg; a fajlagos hőveszteség tényező $[W/m^3K]$ nem felel meg, $q_{iskola} = 0,491 > 0,205 = q_m$, $q_{melléképületek} = 1,012 > 0,296 = q_m$; nyári túlmelegedés: megfelel; az összesített energetikai jellemző $[kWh/m^2a]$ nem felel meg, $E_{piskola} = 131,0 > 100,0 = E_{pm}$, 131%, E osztály, $E_{pkollégium} = 210,7 > 125,2 = E_{pm}$, 168,4%, F osztály; megújuló energiák: nincs ilyen hasznosítás

Iskola rövid neve	Hild József Szakközépiskola	Bercsényi Miklós Szakközépiskola
Épületakusztika (Reis, 2003) és (P.Nagy, 2004) alapján	igen jelentős, közeli közúti (1-es főút) és üzemi (nyomda, tűzoltóság) zaj, de kedvező az alaprajzi elrendezés; a szerkezetek valószínűleg megfelelnek	jelentős közúti zaj az épület mögött, de kedvező az alaprajzi elrendezés; szerkezetek megfelel- nek; a különböző saját funkciók azonban zavarhatják egymást (pl. műhely és tanterem); a szerkezetek valószínűleg megfelelnek
Tűzvédelem a hatályos (28/2011. BM) majd a (54/2014. BM) alapján	D tűzvesélyességi osztály; jelentősebb hiányosságot a vizsgálat nem tárt fel	C tűzvesélyességi osztály; a többszörösen bővített épület szintterülete jelentősen meghaladja a tűzszakaszhatárt, ezért tűzszaka- szolás szükséges; egyéb hiányossá- got a vizsgálat nem tárt fel
Források	(Bognár-Dörner és tsi, 2011), (Gergely-Kuruc-Pálla, 2011), (Molnár és tsi, 2011), (Molnár-Tánczos-Zámbó, 2011)	(Dohanek és tsi, 2012)

2. táblázat (folytatás) Az épületek állapotelemzésének eredményei

Felújítási és bővítési javaslatok

Az Épített környezetünk tárgy gyakorlati kurzusán az épületek állapot-
elemzése után a hallgatói csoportok egyéni tervezési programokat dolgoztak
ki, melyekben különböző hangsúlyokat kaptak az épületegyüttesekkel kapcsola-
tos problémák. A csoportok így különböző komplex megoldásokat tudtak
kidolgozni a fennálló problémákra. Terjedelmi okokból e cikkben csak néhány
részlet mutatható be az átnézeti terveket és részletmegoldásokat is tartalmazó
óriási tervanyagokból. Az egyes felújítási- és bővítési tervekkel kapcsolatos leg-
fontosabb részleteket az eddigi táblázatos formában a 3. táblázat (50-53. oldal)
mutatja be.

A tervezési folyamatok hangsúlyos problémái évről-évre változtak egyrészt
az épületek egyedi igényei szerint, másrészt az MSc-s hallgatók előképzettsé-
ge szerint. Így került előtérbe a funkcionális igények, az akadálymentesítés, a

Lukács Sándor Szakképző Iskola	Baross Gábor Szakközépiskola	Tánc-és Képzőművészeti Iskola
jelentős közúti (1-es főút) és üzemi (saját műhelyek) zaj, de kedvező az alaprajzi elrendezés; kollégiumi lakószobák a főútra néznek, de a távolság kielégítő; a a szerkezetek valószínűleg megfelelnek; étkező túlságosan visszhangos	mérsékelt közúti és vasúti zaj terheli a homlokzatokat, melyre az épület kialakítása nem reagál; a szerkezetek valószínűleg megfelelnek; Baross-terem akusztikája javítandó	mérsékelt közúti és vasúti zaj terheli a homlokzatokat, de általában kedvező az alaprajzi elrendezés; a szerkezetek valószínűleg megfelelnek; a zene- és balett-termek akusztikájára különös figyelem fordítandó
C tűzvesélyességi osztály; az épület szintterülete jelentősen meghaladja a tűzszakaszhatárt, ezért tűzszakaszolás szükséges; tűzoltási felvonulási területek és utak felülvizsgálandók; egyes számított kiürítési útvonalak nem feleltek meg; középfolysók kialakítása ellenőrizendő	C tűzvesélyességi osztály; az épület szintterülete meghaladja a tűzszakaszhatárt, ezért tűzszakaszolás szükséges; egyes számított kiürítési útvonalak nem feleltek meg	AK: alacsony kockázati osztály; egyes szerkezetek tűzvédelmi megfelelése kritikus (pl.: acél két-csuklós tartók); az iskola szintterülete meghaladja a tűzszakaszhatárt, ezért tűzszakaszolás szükséges; egyes számított kiürítési útvonalak nem feleltek meg; lépcsőházak füstelvezetése biztosítandó;
(Balázs és tsi, 2013), (Bartha és tsi, 2013), (Erdős és tsi, 2012), (Kóródy, 2013)	(Fekete és tsi, 2014), (Hegedűs és tsi, 2014), (Horváth-Lukács, 2014), (Hujber-Mórucz, 2014), (Husz-Orcsik, 2014), (Komjáthy-Hegedűs, 2014), (Németh, 2014), (Seres-Szoby, 2014), (Sós, 2014)	(Árpási és tsi, 2015), (Bakó-Hován, 2015), (Böröczki és tsi, 2015), (Böröczki-Pati, 2015), (Eszes, 2015), (Fodor, 2015), (Födemesi-Pócsi, 2015), (Gyécsek-Khell-Árpási, 2015), (Kiss és tsi, 2015), (Kiss-Halász, 2015)

műemlékvédelem, a fokozott energiatudatosság, vagy akár a passzívház komponensek alkalmazásának témaköre az egyes tervezőcsoportok megközelítési módjában. A tervdokumentációk minősége természetesen változó, de javuló tendenciát mutat. Minden tervben található értékes gondolatokat, melyek esetleg megtermékenyítőleg hathatnak majd egy esetleges későbbi felújítás vagy bővítés tervezésekor, kivitelezésekor.

A tervjavaslatok energetikai megfelelőségének igazolása az első két évben még nem képezte a feladat részét, a harmadik évtől részleges energetikai tanúsításokat készítettek a hallgatók, melyben igazolták, hogy a betervezett új, és a felújított régi szerkezetek hőátbocsátási tényezői és az épületek fajlagos hőveszteség tényezői megfelelnek a követelményeknek. Az ötödik évben már teljes energetikai tanúsítások is készültek, melyekben az épületek a (7/2006. TNM) rendelet költségoptimalizált követelményértékei szerinti A vagy A+ osztályú besorolást kaptak.

Iskola rövid neve	Hild József Szakközépiskola	Bercsényi Miklós Szakközépiskola
Hangsúlyos kérdések	Az épületegyüttes egységesítése, új tantermek.	A szocreál épület értékeinek megőrzése, tornatermi lelátó építése.
A tervjavaslatok legfőbb célkitűzései, vállalásai a teljes felújításon túlmenően	<p>A: a földszintes épület bővítése egy második szinttel; a tornaterem és a főépület összekötése híddal; a tornaterem kétszintes részének funkcionális átalakítása; melegítőkonyha és étkező kialakítása; összes utcafronti homlokzat egységes szerelt kerámia burkolattal</p> <p>B: teljes akadálymentesítés; a földszintes épület bővítése egy második félszinttel; a tornaterem és a főépület összekötése híddal; a tornaterem kétszintes részének funkcionális átalakítása; melegítőkonyha és étkező kialakítása; főépület utcafronti homlokzata egységes szerelt Trespa burkolattal; napelemek telepítése</p> <p>C: teljes akadálymentesítés; főépület tantermeinek újraosztása; a földszintes épület bővítése egy második szinttel; a tornaterem és a főépület összekötése híddal; a főépület utcafronti homlokzata egységes mészkőlap burkolattal; nyugati homlokzatok árnyékolása; napelemek telepítése</p>	<p>A: teljes akadálymentesítés; lelátó építése a tornaterem rövid oldalára; öltözők átalakítása; paneles épület csatlakozásának átalakítása; főépületen a téglaburkolat helyettesítése lapka burkolattal a hőszigetelés után</p> <p>B: teljes akadálymentesítés; öltözők átalakítása; lelátó építése a tornacsarnok hosszoldalára, a pillérek kiváltásával; paneles épület csatlakozásának átalakítása; téglaburkolatos, szocreál főépület belső oldali hőszigetelése</p>

Látványtervek

a felújított épületekről

Az **A** csoportok terveiből:



A **B** csoportok terveiből:



A **C** csoportok terveiből:



3. táblázat Az épületek felújítási és bővítési terveinek főbb elemei (folyt. köv.)

Lukács Sándor Szakképző Iskola

A szocreál műemléképület értékeinek megőrzése.

A: kollégiumi szobákhoz fürdőszobák építése; mesterséges szellőztetés kiépítése a tantermekben, hőviszanyeréssel; étkezőben akusztikus burkolatok; a homlokzati falakat a belső oldalon hőszigeteltét az eredeti téglaburkolat megtartása érdekében; napkollektorok telepítése a kollégium tetéjére

B: felújítás a műemléki szempontok előtérbe helyezésével; kollégium zárása, kártyás rendszerrel; vizesblokkok felújítása; ahol az eredeti burkolatok engedték a homlokzati falakat a belső oldalon hőszigetelték az eredeti téglaburkolat megtartása érdekében; eredetihez hasonló fa nyílászárók visszaállítása

C: kollégiumi szobákhoz fürdőszobák és közösségi pihenő kialakítása; az erkélyek beüvegezése; vizesblokkok felújítás; a homlokzatokat kívülről szigetelték, majd átszellőztetett új téglaburkolat készült az eredeti ornamentikához hasonló utángyártott elemekkel.

Baross Gábor Szakközépiskola

Az épületegyüttes egységesítése, új tanterem, energiatudatosság.

A: tűzszakaszolás; minimális belső átalakítás; a főépület főhomlokzatának belső oldali hőszigetelése az eredeti anyagok megtartása érdekében, a többi helyen külső oldali hőszigetelés, téglával burkolt részekben lapka burkolat

B: az összes bővítmény elbontása, 8 új tanterem és egy nagyterem építése; vizesblokk felújítás; udvarrendezés; nagyterem felett teraszotető, kétszintes épületen zöldtető, a teljes épület intenzív külső oldali hőszigetelése; napelempark telepítése a főépület tetéjére

C: az összes bővítmény elbontása, 10 új tanterem és egy nagyterem építése az eredeti épület logikájának konzekvens folytatásával; vizesblokk felújítás; udvarrendezés; intenzív külső hőszigetelés, az eredetihez hasonló burkolatokkal

D: teljes akadálymentesítés; vizesblokk felújítás és átalakítás; kisebb bővítések az udvari oldalon; tűzszakaszolás; külső hőszigetelés, az eredetihez hasonló jellegű és utángyártott burkolatokkal.

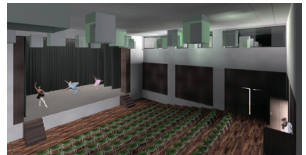
Tánc-és Képzőművészeti Iskola

Az iskola jelentős bővítése speciális termekkel.

A: étkező, balett-termek és tornaterem elbontása, új balett-termek, multifunkciós nagyterem, új tornaterem, új étkező, főzőkonyhával; új termek; kollégiumi szolgálati lakás megszüntetése; homlokzatok a régi épületeken vakoltak, az újakon színes Trespa anyaggal burkoltak

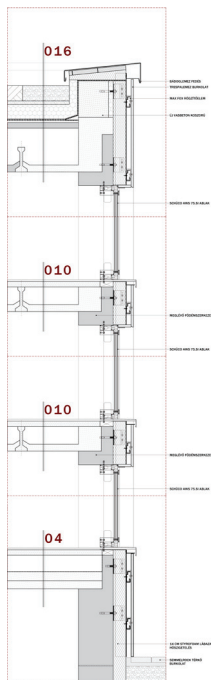
B: a főépület bővítése az eredeti szerkezeti elvek betartásával; új balett-termek, új tanterem; sportudvar; melegítőkonyha átszervezése, étkezőn átjárás megszüntetése; meglévő balett-termek új homlokzattal; napelem árnyékolók; kollégium új szárny; belső udvar; hőszigetelés egyszerű vakolatrendszerrel

C: a tornaterem elbontása; nagy pinceszinti tornaterem, balett-termek és grafikai műhely; új homlokzat a meglévő balett-termeknek; új eseménybejárat; aula többszintes alakítása, a zsiabongók kitisztítása; kollégiumban szolgálati lakás megszüntetése, hőszigetelt-vakolt, opak és transzparens szendvicspanel homlokzatok.

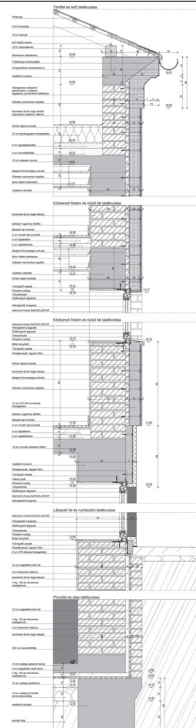


Részlettervek

a felújított épületek
részletei, falmetszetei
cca. 1:83; 1:125



B csoport



A csoport

Források

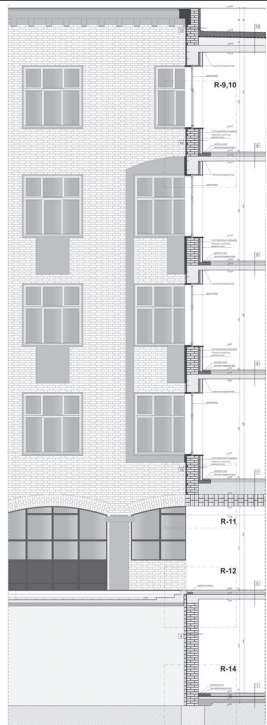
sorrendben:
A, B, C, D

(Molnár-Tánczos-Zámbó, 2011),
(Bognár-Dörner-Borsai-Pajor,
2011), (Gergely-Kuruc-Pála, 2011)

(Dohanek és tsi, 2012),
(Hígi és tsi, 2012)

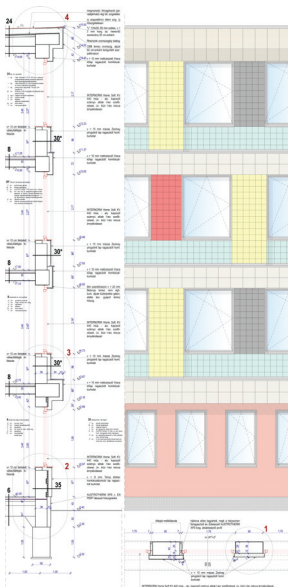
3. táblázat (folytatás) Az épületek felújítási és bővítési terveinek főbb elemei

Összegezve: A cikkben ismertetett gyakorlati feladatokkal a győri egyetem mesterszakos építészhallgatói betekintést nyerhetnek az épületek és épületszerkezetek vizsgálatának és tervezésének speciális szakterületeibe. A betekintés egyben alternatív lehetőségeket is feltár előttük, egyrészt a tervezési feladatok, másrészt az építész mérnök szerepvállalásának sokrétűségét illetően. Mindemellett az intézmények is örömmel támogatják az épületállományukkal kapcsolatos munkánkat, hálásak az épületek tervanyagának összedolgozásáért, felfrissítéséért, kíváncsian várják az energetikai minősítés eredményét és a felújítási-, bővítési javaslatokat is. A győri iskolaépületek feldolgozása a 2015/16-os tanévben is folytatódik hallgatóink és az iskolák épülésére.



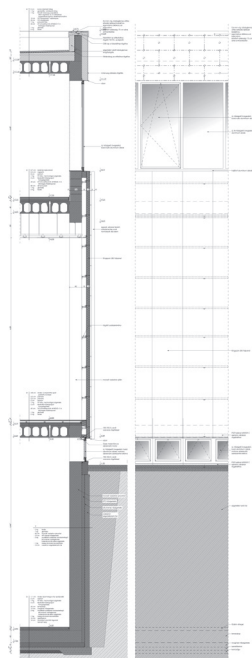
B csoport

(Horák és tsi, 2013),
(Erdős és tsi, 2013),
(Balázs és tsi, 2013)



D csoport

(Komjáthy-Seres-Szoby, 2014),
(Husz és tsi, 2014), (Hegedűs és
tsi, 2014), (Németh-Rácz, 2014)



C csoport

(Böröczki és tsi, 2015),
(Eszes és tsi, 2015),
(Árpási és tsi, 2015)

Források

- (176/2008. Korm.) Szerző nélkül: 176/2008. (VI. 30.) Korm. rendelet az épületek energetikai jellemzőinek tanúsításáról. Jogtár, http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A0800176. KOR 2015.07.22.
- (28/2011. BM) Szerző nélkül: 28/2011. (IX. 6.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról. Jogtár, http://njt.hu/cgi_bin/njt_doc.cgi?docid=137910.230386 2015.07.22.
- (54/2014. BM) Szerző nélkül: 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról. Jogtár, http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A1400054. BM 2015.07.22.
- (7/2006. TNM) Szerző nélkül: 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról. Jogtár, http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A0600007. TNM 2015.07.22.

- (Ágostházi, 2003) Ágostházi László: Műemlékvédelem. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 2003.
- (Árpási és tsi, 2015) Árpási Gergő, Bakó Eszter Barbara, Böröczki Brigitta Fruzsina, Födelmesi Tamás László, Hován Gabriella Réka, Kiss Ágota, Pánovits Norbert Gyula, Pati Barbara, Szabó Eszter: Tánc és Képzőművészeti Iskola állapotörögzítő terv 1:200, SZE, Győr, 2015.
- (Árpási és tsi, 2015) Árpási Gergő, Bakó Eszter Barbara, Födelmesi Tamás László, Hován Gabriella Réka, Pánovits Norbert Gyula, Pati Barbara, Simongáthi Zsolt: Oktatási épület hő- és páratechnikai, épületakusztikai és tűzvédelmi szakvélemény (tanulmány). SZE, Győr, 2015.
- (Árpási és tsi, 2015) Árpási Gergő, Bakó Eszter Barbara, Födelmesi Tamás László, Hován Gabriella Réka, Pati Barbara: A Győri Tánc- és Képzőművészeti Iskola korszerűsítési terve. SZE, Győr, 2015.
- (Bajza, 2003) Bajza József: Szemrevételezéses épületdiagnosztika. TERC, Budapest, 2003.
- (Bakó-Hován, 2015) Bakó Eszter, Hován Gabriella: Győri Tánc- és Képzőművészeti Általános Iskola, Szakközépiskola és Kollégium – Akadálymentes elemzés (tanulmány). SZE, Győr, 2015.
- (Balázs és tsi, 2013) Balázs Gyöngyi, Bari Márk, Bartha Zalán, Bózsó Barna, Élő Tamás, Erdős Evelin, Erős Erika, Fekete Máté, Furkó Julianna, Horák Máté, Lukács Dorottya, Molnár Nikolett, Nagy András, Nagy Lilla, Palkovics Dániel, Péter Zsuzsanna, Pongrácz Balázs, Prekob Tamás, Tóth Balázs, Tóth Eszter Flóra, Vaszari Tímea, Wimmer György: Lukács Sándor Szakképző Iskola állapotörögzítő terv 1:200, SZE, Győr, 2013.
- (Balázs és tsi, 2013) Balázs Gyöngyi, Bari Márk, Furkó Julianna, Molnár Nikolett, Péter Zsuzsanna, Pongrácz Balázs, Tóth Balázs, Tóth Eszter Flóra: Lukács Sándor Mechatronikai és Gépészeti Szakképző Iskola és Kollégium oktatási épület hő- és páratechnikai, épületakusztikai és tűzvédelmi szakvéleménye. SZE, Győr, 2013.
- (Balázs és tsi, 2013) Balázs Gyöngyi, Salacz Orsolya, Prekob Tamás, Pongrácz Balázs: A Lukács Sándor Szakképző Iskola felújítási terve. SZE, Győr, 2013.
- (Bartha és tsi, 2013) Bartha Zalán, Bózsó Barna, Élő Tamás, Fekete Máté, Nagy András, Vaszari Tímea: Lukács Sándor Mechatronikai és Gépészeti Szakképző Iskola és Kollégium Kollégiumi szárny (tanulmány). SZE, Győr, 2013.
- (Bognár-Dörner és tsi, 2011) Bognár-Dörner Ágnes, Borsai Árpád, Pajor Zsófia Rita, Vados-Tóth Nikolett: Hild József Építőipari Szakközépiskola felmérési dokumentációja (tanulmány), SZE, Győr, 2011.
- (Bognár-Dörner és tsi, 2011) Bognár-Dörner Ágnes, Pajor Zsófia Rita, Gergely Gyula Máttyás, Borsai Árpád: Hild József Építőipari Szakközépiskola szakértői vélemény, SZE, Győr, 2011.
- (Bognár-Dörner-Borsai-Pajor, 2011) Bognár-Dörner Ágnes, Borsai Árpád, Pajor Zsófia Rita: A Hild József Szakközépiskola felújítási terve. SZE, Győr, 2011.
- (Böröczki és tsi, 2015) Böröczki Brigitta Fruzsina, Fodor Petra, Gyécsek Mónika, Khell Antónia, Szabó Eszter: Győri Tánc- és Képzőművészeti Általános Iskola, Szakközépiskola és Kollégium (tanulmány). SZE, Győr, 2015.

- (Böröczki és tsi, 2015) Böröczki Brigitta Fruzsina, Fodor Petra, Gyécsek Mónika, Khell Antónia, Szabó Eszter: A Győri Tánc- és Képzőművészeti Iskola korszerűsítési terve. SZE, Győr, 2015.
- (Böröczki-Pati, 2015) Böröczki Brigitta Fruzsina, Pati Barbara: Tűzvédelem – Győri Tánc- és Képzőművészeti Általános Iskola, Szakközépiskola és Kollégium (tanulmány). SZE, Győr, 2015.
- (Cságoly, 2014) Cságoly Ferenc: Három könyv az építészetéről 1-2-3. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2014.
- (Dohanek és tsi, 2012) Dohanek Ádám, Higi Balázs, Komka Ágnes, Kovács Péter, Magyar Barbara, Sántha Zsuzsanna, Szabó Dániel, Székely Eszter Katalin, Tóth Balázs: Bercsényi Miklós Szakközépiskola állapotörögztítő terv 1:200, SZE, Győr, 2012.
- (Dohanek és tsi, 2012) Dohanek Ádám, Higi Balázs, Komka Ágnes, Kovács Péter, Magyar Barbara, Sántha Zsuzsanna, Szabó Dániel, Székely Eszter Katalin, Tóth Balázs: Bercsényi Miklós Közlekedési Középiskola, Szakiskola és Sportiskolai Módszertani Központ hő- és páratechnikai, épületakusztikai és tűzvédelmi szakvélemény, SZE, Győr, 2012.
- (Dohanek és tsi, 2012) Dohanek Ádám, Komka Ágnes, Sántha Zsuzsanna, Székely Eszter Katalin: A Bercsényi Miklós Szakközépiskola felújítási terve. SZE, Győr, 2012.
- (Erdős és tsi, 2012) Erdős Evelin, Horák Máté, Lukács Dorottya, Nagy Lilla, Palkovics Dániel, Prekob Tamás, Wimmer György: Gyakorlati épületfizika – Lukács Sándor Mechatronikai és Gépészeti Szakközépiskola és Kollégium (tanulmány). SZE, Győr, 2012.
- (Erdős és tsi, 2013) Erdős Evelin, Erős Erika, Kohonicz Mihály, Nagy Lilla: A Lukács Sándor Szaképítő Iskola felújítási terve. SZE, Győr, 2013.
- (Eszes és tsi, 2015) Eszes Tibor, Halász Sándor Dániel, Kiss Ágota, Pócsi András: A Győri Tánc- és Képzőművészeti Iskola korszerűsítési terve. SZE, Győr, 2015.
- (Eszes, 2015) Eszes Tibor: Győri Tánc- és Képzőművészeti Általános Iskola örökségvédelmi szempontú elemzése (tanulmány). SZE, Győr, 2015.
- (Fekete és tsi, 2014) Fekete Kristóf, Hegedűs Richárd, Horváth Zsanett, Hujber Zoltán, Husz Tamás, Jakab István, Komjáthyová Nikoleta, Magyar Ferenc, Molnár Dávid Ferenc, Mórucz László, Németh Edina, Orcsik Szabolcs, Roll Dávid, Seres Dóra, Sós Attila, Szoby Réka: Baross Gábor Szakközépiskola állapotörögztítő terv 1:200, SZE, Győr, 2014.
- (Fekete és tsi, 2014) Fekete Kristóf, Horváth Zsanett, Magyar Ferenc, Komjáthyová Nikoleta, Molnár Dávid Ferenc, Orcsik Szabolcs, Seres Dóra, Szoby Réka Katalin: Oktatási épület hő- és páratechnikai, épületakusztikai és tűzvédelmi szakvéleménye. SZE, Győr, 2014.
- (Fodor, 2015) Fodor Petra: Győri Tánc- és Képzőművészeti Általános Iskola, Szakközépiskola és Kollégium – Hőtechnikai elemzés (tanulmány). SZE, Győr, 2015.
- (Födelmesi-Pócsi, 2015) Födelmesi Tamás László, Pócsi András: Épületakusztika (tanulmány). SZE, Győr, 2015.
- (Gergely-Kuruc-Pála, 2011) Gergely Gyula Mátyás, Kuruc Krisztián, Pála Károly: Hild József Építőipari Szakközépiskola állapotörögztítő terv 1:200, SZE, Győr, 2011.

- (Gergely-Kuruc-Pála, 2011) Gergely Gyula Mátyás, Kuruc Krisztián, Pála Károly: Hild József Építőipari Szakközépiskola épület korszerűsítésének előzetes vizsgálata (tanulmány), SZE, Győr, 2011.
- (Gergely-Kuruc-Pála, 2011) Gergely Gyula Mátyás, Kuruc Krisztián, Pála Károly: A Hild József Szakközépiskola felújítási terve. SZE, Győr, 2011.
- (Gyécsek-Khell-Árpási, 2015) Gyécsek Mónika, Khell Antónia, Árpási Gergő: Épületszerkezetek diagnosztikája – Győri Tánc- és Képzőművészeti Általános Iskola, Szakközépiskola és Kollégium (tanulmány). SZE, Győr, 2015.
- (GyőrMJV, 2015) Szerző nélkül: Oktatási intézmények. Győr MJV honlapja, <http://oktatas.gyor.hu/> 2015.07.16.
- (Hartmann, 2012) Hartmann Gergely: Bercsenyi Miklós Szakközépiskola. Modern Győr, <http://moderngyor.com/2012/08/04/bercsenyi-miklos-szakkozepiskola/> 2012.08.04.
- (Hartmann, 2012) Hartmann Gergely: Ipari Tanulók Iskolája. Modern Győr, <http://moderngyor.com/2012/12/01/ipari-tanulok-iskolaja/> 2012.12.01.
- (Hartmann, 2013) Hartmann Gergely: Baross Gábor Szakközépiskola (Szamuely T. Közgazdasági Technikum). Modern Győr, <http://moderngyor.com/2013/04/06/kozgasztasagi-technikum/> 2013.04.06.
- (Hartmann, 2013) Hartmann Gergely: Oktatási épületek 1945–1963. Modern Győr, <http://moderngyor.com/2013/03/16/iskolaepitesek-1945-1963/> 2013.03.16.
- (Hartmann, 2013) Hartmann Gergely: Szabolcska utcai 16 tantermes általános iskola (Ságvári Endre iskola). Modern Győr, <http://moderngyor.com/2013/03/17/szabolcska-utcai-16-tantermes-altalanos-iskola-sagvari-endre-iskola/> 2013.03.17.
- (Hartmann, 2014) Hartmann Gergely: Építőipari technikum (Hild József Szakközépiskola). Modern Győr, <http://moderngyor.com/2014/01/02/epitoipari-technikum/> 2014.01.02.
- (Hegedűs és tsi, 2014) Hegedűs Richárd, Horváth Zsanett, Lukács Dorottya, Mórucz László: A Baross Gábor Szakközépiskola korszerűsítési terve. SZE, Győr, 2014.
- (Hegedűs és tsi, 2014) Hegedűs Richárd, Hujber Zoltán, Husz Tamás, Jakab István, Mórucz László, Roll Dávid, Sós Attila: Baross Gábor Közgazdasági és Két Tanítási Nyelvű Szakközépiskola hő- és páratechnikai, épületakusztikai és tűzvédelmi szakvéleménye. SZE, Győr, 2014.
- (Higi és tsi, 2012) Higi Balázs, Kovács Péter, Magyar Barbara, Szabó Dániel, Tóth Balázs: A Bercsenyi Miklós Szakközépiskola korszerűsítési terve. SZE, Győr, 2012.
- (Horák és tsi, 2013) Horák Máté, Nosticzius Anita, Palkovics Dániel, Wimmer György: A Lukács Sándor Szakképző Iskola korszerűsítési terve. SZE, Győr, 2013.
- (Horváth-Lukács, 2014) Horváth Zsanett, Lukács Dorottya: Épített környezetünk – Hőtechnika / Épületenergetika (tanulmány). SZE, Győr, 2014.
- (Hujber-Mórucz, 2014) Hujber Zoltán, Mórucz László: Baross Gábor Közgazdasági és Két Tanítási Nyelvű Szakközépiskola – Örökségvédelem (tanulmány). SZE, Győr, 2014.

- (Husz és tsi, 2014) Husz Tamás, Hujber Zoltán, Sós Attila, Orcsik Szabolcs: A Baross Gábor Szakközépiskola korszerűsítési terve. SZE, Győr, 2014.
- (Husz-Orcsik, 2014) Husz Tamás, Orcsik Szabolcs: Baross Gábor Közgazdasági és Két Tanítási Nyelvű Szakközépiskola – Épületszerkezetek (tanulmány). SZE, Győr, 2014.
- (Kiss és tsi, 2015) Kiss Ágota, Halász Sándor Dániel, Pócsi András, Rozina Tibor, Vajda Kitti: Hő- és páratechnikai, épületakusztikai és tűzvédelmi szakvélemény (tanulmány). SZE, Győr, 2015.
- (Kiss-Halász, 2015) Kiss Ágota, Halász Sándor Dániel: Győri Tánc- és Képzőművészeti Általános Iskola, Szakközépiskola és Kollégium – Funkcionális elemzés (tanulmány). SZE, Győr, 2015.
- (Komjáthy-Hegedűs, 2014) Komjáthy Nikoletta, Hegedűs Rihárd: Baross Gábor Közgazdasági és Két Tanítási Nyelvű Szakközépiskola – Tűzvédelem (tanulmány). SZE, Győr, 2014.
- (Komjáthy-Seres-Szoby, 2014) Komjáthy Nikolett, Seres Dóra, Szoby Réka: A Baross Gábor Szakközépiskola korszerűsítési terve. SZE, Győr, 2014.
- (Koppány-Fátrai-Horváth, 2009) Koppány Attila, Fátrai György, Horváth Tamás: Szerkezettervező építészmérnök mesterszak indítására irányuló kérelem (kézirat). SZE, Győr, 2009.
- (Kóródy, 2013) Kóródy Anna: Szocreál örökség – Rimanóczy Gyula győri Iparitanodája (konferencia előadás). In: „Építészeti emlékek a XX. század második feléből” konferencia. SZE, Győr, 2013. szeptember 19.
- (Kőrössi-Horváth, 2010) Kőrössi Éva, Horváth Tamás: Az Épületszerkezettan oktatás hatékonyságának fejlesztése a Széchenyi István Egyetemen (konferencia cikk). In: [Hajdú Miklós]: Építőipar a fenntartható fejlődésért. Építésmenedzsment és technológia konferencia. Budapest, 2010. október 28.
- (Molnár és tsi, 2011) Molnár Szilvia, Palla Károly, Tánczos Szabina, Zámbó Viktória: Hild József Építőipari Szakközépiskola vizsgálata (tanulmány), SZE, Győr, 2011.
- (Molnár-Tánczos-Zámbó, 2011) Molnár Szilvia, Tánczos Szabina, Zámbó Viktória: Épített környezetünk I. feladat (tanulmány), SZE, Győr, 2011.
- (Molnár-Tánczos-Zámbó, 2011) Molnár Szilvia, Tánczos Szabina, Zámbó Viktória: A Hild József Szakközépiskola felújítási terve. SZE, Győr, 2011.
- (MSZ 24203-3:2007) Szerző nélkül: Oktatási intézmények tervezési előírásai. 3. rész: Középfokú oktatási intézmények. Magyar szabvány. 2007.
- (MSZE 24203-3:2012) Szerző nélkül: Oktatási intézmények tervezési előírásai. 3. rész: Középfokú oktatási intézmények. Magyar szabvány. 2012.
- (Nagy, 2013) Nagy András fényképe. In: [Horváth Tamás]: „Totally Lost” kiállítás, Győr, 2013. szeptember 20 – október 3.
- (Nagy, 2013) Nagy András fényképe. In: [Horváth Tamás]: Győr – Építészeti alkotások a XX. századból (tematikus turista térkép), SZE, Győr, 2013.

- (Németh, 2014) Németh Edina: Baross Gábor Közgazdasági és Két Tanítási Nyelvű Szakközépiskola – Az épület és környezetének akadálymentes szempontú vizsgálata (tanulmány). SZE, Győr, 2014.
- (Németh-Rácz, 2014) Németh Edina, Rácz Róbert: A Baross Gábor Szakközépiskola korszerűsítési terve. SZE, Győr, 2014.
- (OTÉK) Szerző nélkül: 253/1997. (XII. 20.) Korm. rendelet az országos településrendezési és építési követelményekről. Jogtár, http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=99700253. KOR 2015.07.22.
- (P.Nagy, 2004) P. Nagy József: A hangszigetelés elmélete és gyakorlata. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2004.
- (Pandula, 2009) [Pandula András]: Segédlet a közszolgáltatások egyenlő esélyű hozzáféréseinek megteremtéséhez – Komplex akadálymentesítés. Fogyatékos Személyek Esélyegyenlőségéért Közalapítvány, Budapest, 2009.
- (Reis, 2003) Reis Frigyes: Az épületakusztika alapjai – Épületek akusztikai tervezésének gyakorlata. TERC, Budapest, 2003.
- (Román, 2004) Román András: 487 bekezdés és 617 kép a műemlékvédelemről. TERC, Budapest, 2004.
- (Seres-Szoby, 2014) Seres Dóra, Szoby Réka: Baross Gábor Közgazdasági és Két Tanítási Nyelvű Szakközépiskola funkcióanalízise (tanulmány). SZE, Győr, 2014.
- (Sós, 2014) Sós Attila: Baross Gábor Közgazdasági és Két Tanítási Nyelvű Szakközépiskola – Épületakusztikai analízis (tanulmány). SZE, Győr, 2014.
- (Szóke, 2015) Szóke János: Győri iskolák a 20. század második felében (szakdolgozat). SZE, Győr, 2015.
- (Winkler, 2012) Winkler Gábor: Teljhatalom és monumentalitás. Alkotások Győr 20. századi építészeti szemlében. In: [Horváth Tamás]: ATRIUM Nemzetközi építészeti szemle. SZE, Győr, 2012.

Hőszigetelő anyagok hővezetési tényező értéke a műszaki adatlaptól a gyakorlati alkalmazásig

Keresztessy Éva
doktorandusz

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Épületszerkeztan Tanszék

ekeresztessy@epsz.bme.hu










DOI 10.18134/SZE-EET.2015.4

Kivonat

Témavezetőm, Dr. Fülöp Zsuzsanna doktori értekezése [5] felhívja a figyelmet az egyes építőanyagok/épületszerkezetek laboratóriumban mért jellemzője és a beépített állapotban mért érték közötti lehetséges különbség jelentőségére. Jelen cikk keretében hazánkban jellemzően alkalmazott hőszigetelő anyagok műszaki adatlapján található deklarált hővezetési tényező érték statisztikai elemzéséről lesz szó. A hőszigetelő anyagokat alapanyag szerinti csoportosításban tárgyalom, az egyes csoportok különbözőségének vizsgálata a célom. A második fejezetben rövid összefoglalás keretében bemutatom a beépített állapotban fellépő hővezetési tényező érték meghatározására irányuló eddigi kutatásokat Cammerertől napjainkig. Végül a harmadik fejezetben a gyakorlati alkalmazásokra térek ki, előkerül Möller Károly, Sándy Gyula, Gábor László és más kortárs szakemberek témával kapcsolatos írása.

Kortárs hőszigetelő anyagok csoportosítása, statisztikai elemzése energetikai szempontból

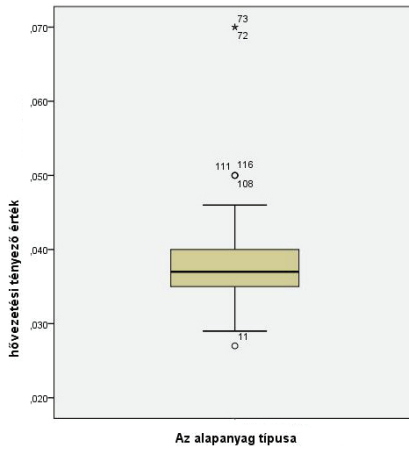
A hőszigetelő anyagok jellemző felosztási módja az alapanyag szerinti csoportosítás [7, 9]. Jelen tanulmányhoz összegyűjtöttem 119 darab (1. ábra) jelen-

szervetlen	83	üvegyártmányok	41	üvegyapot		29
				habüveg		12
		ásványi szálak	41	kőzetgyapot		41
szerves	36	műanyag alapú	28	habszilikát		1
				expandált polisztirolhab		10
		extrudált polisztirolhab		15		
		formahabosított expandált polisztirolhab		3		
		növényi eredetű	6	kendergyapot		4
		cementkötésű fagyapot		2		
		újrafelhasznált anyag	2	újságpapír		2

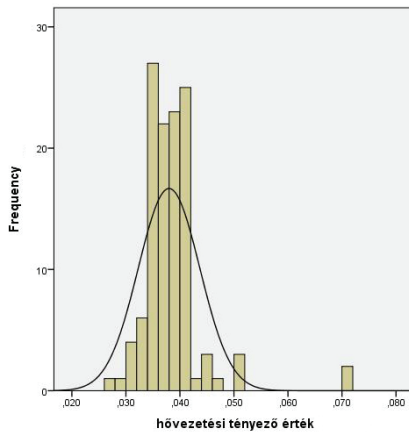
1. ábra A hőszigetelő anyagok csoportosítása és az elemzésbe bevont mintaelemek száma

leg kapható és jellemzően alkalmazott hőszigetelő anyag anyagtulajdonságait (a gyártók hivatalos honlapjáról származó műszaki adatlapokról [17, 18, 19, 20, 21, 22, 23]).

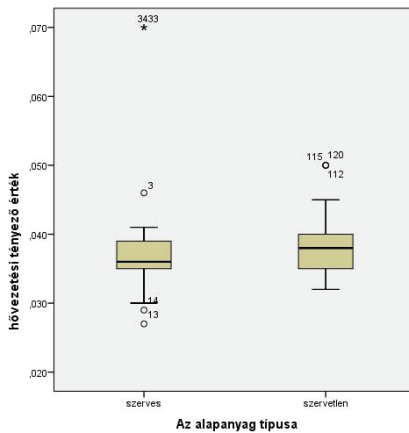
Az energetikai szempontból való értékeléshez a deklarált hővezetési tényező érték az irányadó a műszaki adatlapon megadott jellemzők közül. Az alábbi dobozábrán (2. ábra) az általam összegyűjtött hőszigetelő anyagok hővezetési tényező értékei (deklarált/tervezési) vannak feltüntetve. A rendezett minta középső eleme 0.037 W/mK , a felső (75%) kvartilis 0.04 W/mK , az alsó kvartilis (25%) 0.035 W/mK . A 90%-os lefedettség (dobozhossz) $\sim 0.029 \sim 0.047 \text{ W/mK}$ tartományban mozog. A minta terjedelme 0.043 W/mK , módusza 0.035 W/mK , az átlag 0.03798 W/mK . Ami az outlier eseteket illeti a másfeles és há-



2. ábra Dobozábra a vizsgált hőszigetelő anyagok hővezetési tényező értékére vonatkozóan



3. ábra Sűrűség-histogram a teljes mintára vonatkozóan (a Gauss görbe feltüntetésével)



4. ábra Dobozábra a vizsgált hőszigetelő anyagok hővezetési tényező értékére vonatkozóan szerves-szervetlen bontásban

romszoros dobozhossz közé alulról egy extrudált polisztirolhab került, felülről pedig három darab habüveg termék. A háromszoros dobozhosszon túl a cementkötésű fagyapotok láthatóak.

A teljes minta normális eloszlását egymintás Kolmogorov-Szmirnov próbával ellenőriztem (3. ábra), mely alapján a normális eloszlás elutasítandó (asszimptotikus szignifikancia-szint 0.000).

A továbbiakban arra kerestem a választ, hogy az 1. ábrán bemutatott csoportosítás szerint a két főcsoport (szerves-szervetlen) között a hővezetési tényező várható értékének egyezése fennáll-e az eddig összegyűjtött termékek vizsgálata alapján. A 4. ábrán a 2. ábra továbbfejlesztése látható szerves-szervetlen bontásban. A várható értékek egyezésére a rangszámokon alapuló Mann-Whitney próbát választottam, melynek szignifikancia-szintje alapján (0.097) a két főcsoport várható értéke nem tekinthető különbözőnek (az egyezés szignifikánsnak még nem fogadható el).

Összességében az eddigi adatok alapján szignifikáns különbség a két főcsoport között eddig nem volt kimutatható, a további elemzésekhez (főcsoportokon, továbbá alcsoportokon belüli összehasonlítás) a minta-elemszám növelését irányoztam elő.

A beépített állapotban fellépő módosító tényezők

Az eddig bemutatott elemzések a termékkatalógusban megadott deklarált hővezetési tényező értékén alapultak, de a szakirodalom alapján ez az érték beépített állapotban eltérhet (a különböző típusú anyagok esetében akár különbözőképpen). Ezt a kérdést J. S. Cammerer (német épületfizikus, 1892-1983) [3, 4] óta számos méréses vizsgálat is alátámasztja: őt követte korábban többek között F.B. Rawley, Watzinger és Kindem. A paletta mára egyre kiszélesedett. Több nemzetközi szabvány tartalmaz átszámítási módokat és a 2012. január 15-én visszavont MSZ-04-140-2:1991 magyar szabvány is előírt korrekciós tényezőket (részletezve [1, 12]). Amennyiben egy többlakásos lakóépület egy lakásának energetikai osztályba sorolását a 7/2006-os TNM rendelet szerint végezzük el, akkor az utóbb említett magyar szabvány által előírt korrekciós tényezők (κ) figyelembevétele akár kategóriaváltáshoz is vezethet [13]. Az utóbbi évek jelen-

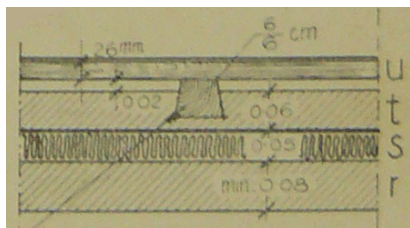
tős informatikai fejlődésének következményeképpen szimulációs programok is készülnek ezen hatás számszerűsítésére (például: Bakonyi D. egyetemi tanársegéd, Épületszerkeztani Tanszék BME: EPICAC).

Összességében megállapítható, hogy a kérdés a 20. század eleje óta aktívan foglalkoztatja a témához kötődő kutatókat [2, 10, 11, 15], de az épületek egyedisége miatt nehéz mindig érvényes megoldást találni.

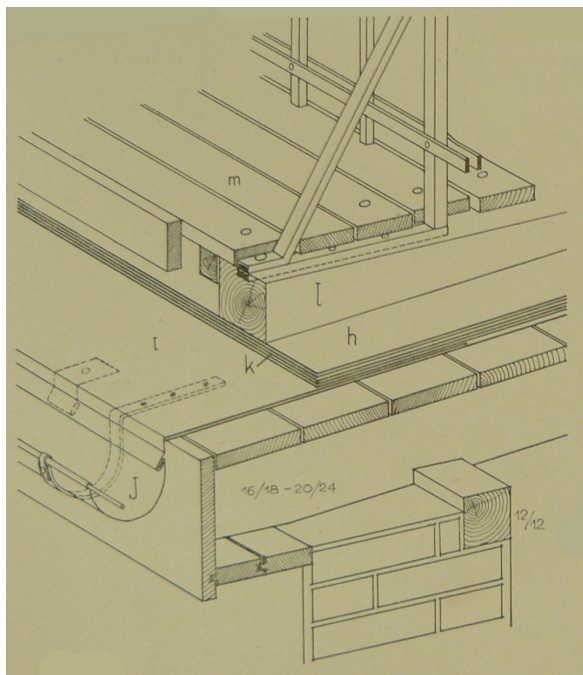
A beépített állapot figyelembevétele az épületszerkezeti tervezésben – gyakorlati alkalmazás

A kutatási tevékenység (laboratóriumi, helyszíni mérések, számítások) mellett a gyakorlat is hamar felismerte a kérdés jelentőségét, magyarországi viszonylatban már a 20. század elején megjelentek olyan épületszerkezettanhoz kötődő írások, amelyek felhívják a figyelmet a hőszigetelés például nedvesség hatásától való védelmére a gyakorlati alkalmazás során (például Möller K. [14], Sándy Gy. [16]).

Később Gábor László Épületszerkeztan könyvsorozata [6] is kitér erre a témára, mintahogyan kortárs egyetemi oktatók doktori disszertációjában is előkerül az építési gyakorlatban való figyelembevétel kérdése [8].



5. ábra Sándy Gy. (~1930) Fejezetek az épületszerkezetek köréből. M. Építőművészet, Budapest, XXXVIII lap: „Legfelül vastartók közötti vasbetonlemezfödémrel p határolt terület. A födémmre előbb egy kiegyenlítő száraz homok- vagy salakfeltöltés q, erre egy 6-15 cm vastag salakbetonréteg alkalmazható r. Ebben képezhető ki a felület lejtése úgy, hogy erre kerülhet a körülbelül 5 cm vastag hőszigetelő réteg: „kovaföld”, „sejt beton”, „parafakő” (emulgit), „heraklit”, „celotex” stb. réteg, s. Ez felül a rákerülő beton nedvessége ellen facementpéppel, bitumennel, mastikollal bemázolható és rá egy 6 cm-es betonréteg alkalmazható, t. Ebbe a betonrétegbe beágyazva, trapéz keresztmetszetű impregnált párnafák alkalmazhatók, amire 2 cm-es szellőző légréteg hagyásával 26 mm-es deszkaborítás, majd lágy vörösrézfödés kerülhet, u.” [16] p27



6. ábra Sándy Gy. (~1930) Fejezetek az épületszerkezetek köréből. M. Építőművészet, Budapest, XXXVIII lap: „terasz gyanánt is használható felső felület” [16] p27

Összegzés

Összességében a cikk célja a jellemzően alkalmazott hőszigetelő anyagok mind felhasználó, mind tervező számára elérhető műszaki adatlapjairól származó energetikai jellemzőjének statisztikai bemutatása és a beépített állapot meghatározására irányuló vizsgálatok áttekintése volt. A vizsgálatba bevont 119 darab termék alapján nem volt kimutatható szignifikáns eltérés a két főcsoport deklarált hővezetési tényezője között, de már a 20. század elejétől felhívják a figyelmet a szakemberek arra, hogy a laboratóriumban meghatározott paraméterek mellett mért anyagtulajdonságok eltérhetnek a valós állapottól. A beépítési situációk egyedisége megnehezíti az utóbbi érték pontos számszerűsíthetőségét, de a harmadik fejezetben bemutatott gyakorlati alkalmazások rámutatnak arra, hogy az épületszerkezettannal foglalkozó szakemberek már a 20. század elejétől megfogalmazzák ajánlásokat a hővezetési tényezőt módosító hatások elkerülésére, csökkentésére.

Irodalomjegyzék

- [1] Bakonyi D., Hőátbocsátási tényező számítása az érvényes szabványok szerint, előadás: tanszéki értekezlet 2014.10.16.
- [2] Bozsaky D. (2011) Természetes és mesterséges hőszigetelő anyagok összehasonlító vizsgálata és elemzése, Ph.D. fokozat elnyeréséhez benyújtott értekezés, Győr
- [3] Cammerer J. S. (1936) Die konstruktiven Grundlagen im Wohn- und Industriebau. Verlag von Julius Springer, Berlin
- [4] Cammerer J. S., Schäcke H. (1957) Feuchtigkeitsregelung, Durchfeuchtung und Wärmeleitfähigkeit bei Baustoffen und Bauteilen. Verlag von Wilhlem Ernst & Sohn, Berlin
- [5] Fülöp Zs. (2007) Épületszerkezetek teljesítmény elvű holisztikus szemléletű tervezése, Ph.D. fokozat elnyeréséhez benyújtott értekezés, Budapest
- [6] Gábor L. (1964) Épületszerkezettan II. Nemzeti Tankönyvkiadó Rt., Budapest
- [7] Józsa Zs., <http://www.epito.bme.hu/eat/oktatas/feltoltések/BMEEOEMMAT4>
- [8] Kakasy L. (1986) Kőzetgyapot hőszigetelő anyagok alkalmazási feltételei épülethatároló szerkezetekben. Műszaki doktori értekezés, Budapest
- [9] Kapovits G., <http://www.artheseus.hu>
- [10] Karamanos A., Hadjaraouk S., Papadopoulos A. M. (2008) The impact of temperature and moisture on the thermal performance of stone wool. *Energy and Building* 40, 1402-1411
- [11] Kochhar Ph.D., Guru S., Manohar K. (1995) Effect of moisture on thermal conductivity of fibrous biological insulating materials. *Thermal Performance of Exterior Envelopes of Buildings VI Conference*, 33-40
- [12] Keresztessy E. (2012) Context of product data bases in energy efficient architecture. *Periodica Politechnica Architecture* 43, 11-15
- [13] Keresztessy É. (2013) Vízszigetelési követelmények komplex értelmezése. *Magyar Építéstechnika* 11-12, 14-17
- [14] Möller K. (1929-30) Az építőanyagok gyakorlati kézikönyve. Dunántúl Kvk. és Ny., Pécs.
- [15] Ochs F., Heidemann W., Müller-Steinhagen H. (2008) Effective thermal conductivity of moistened insulation materials as a function of temperature. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 51, 539-552
- [16] Sándy Gy. (~1930) Fejezetek az épületszerkezetek köréből. 2. füzet, M. Építőművészet, Budapest
- [17] <http://www.austrotherm.hu/>
- [18] <http://www.rockwool.hu/>

[19] http://www.tetoszigetelesek.hu/thermofloc_hoszigeteles_katalogus

[20] <http://www.knaufinsulation.hu/>

[21] <http://www.rwbautech.hu/>

[22] <http://www.ytong.hu/>

[23] <http://www.thermo-natur.de/>

Meddig él a hőszigetelés?

Kruchina Sándor

marketing vezető

Austrotherm Hőszigetelőanyag Gyártó Kft.

kruchina@austrotherm.hu

DOI 10.18134/SZE-EET.2015.5

Azt régóta nem kell bizonygatni, hogy érdemes hőszigetelni. Az emelkedő energiaárak mellett hamar megtérül a beruházás. De meddig élvezhetjük a kényelmes meleget? Mikor kell majd felújítani a hőszigetelt épületeinket?

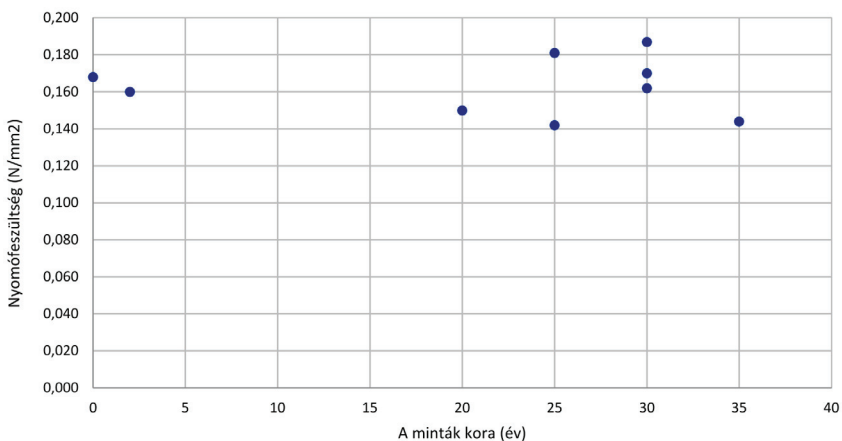
Az expandált polisztirolhab története 1951-ig nyúlik vissza. Ekkor szabadalmaztatta a BASF a hőszigetelési célú EPS terméket. Homlokzati hőszigetelő rendszer beépítésére 1957-ben, Berlinben került sor először, 4 cm vastag polisztirol lemez alkalmazásával. Az eltelt 55 év alatt csak Németországban 900 millió négyzetméter homlokzati szigetelés készült el, és a tempó ma sem csökken: évente több mint 40 millió négyzetméter falat szigetelnek polisztirolhabbal.

Mérések és becslések

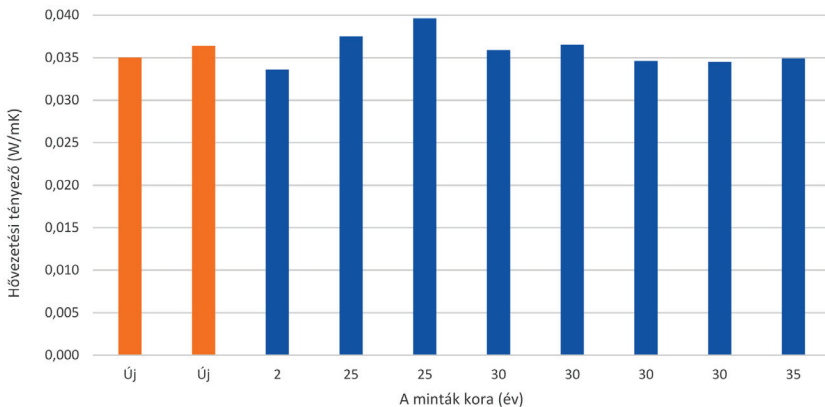
A St. Gallen-i Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) megvizsgálta az elmúlt évtizedekben beépített termékek jellemzőit, és összehasonlította az azonos minőségűnek deklarált, jelenleg gyártott anyagokkal. Az első lépés a hővezetési tényező meghatározása volt. Az azonos minőségű, vagy azonos paraméterekre normált anyagok minősége megdöbbentően állandónak bizonyult. A vizsgált termékek közötti hővezetési tényezője 0,04 W/mK volt. Az új anyagok esetében a valós, mért érték 0,035 és 0,037

közé esett, míg a régi anyagok 0,033 és 0,039 közötti értéket mutattak (lásd 2. ábra). A legrégebb, 35 éves lemezek szigetelőképessége megegyezett a legújabb anyagokéval.

A jelenlegi európai szabvány a polisztirolhab hőszigetelő anyagokat szilárdsági paramétereit szerint osztályozza (MSZ EN 13163), így természetesen a nyomószilárdsági értéket is vizsgálták. A 35 éve beépített termékek szilárdsági paramétereit mindössze 7%-al csökkentek a névleges értékhez képest (lásd 1. ábra).



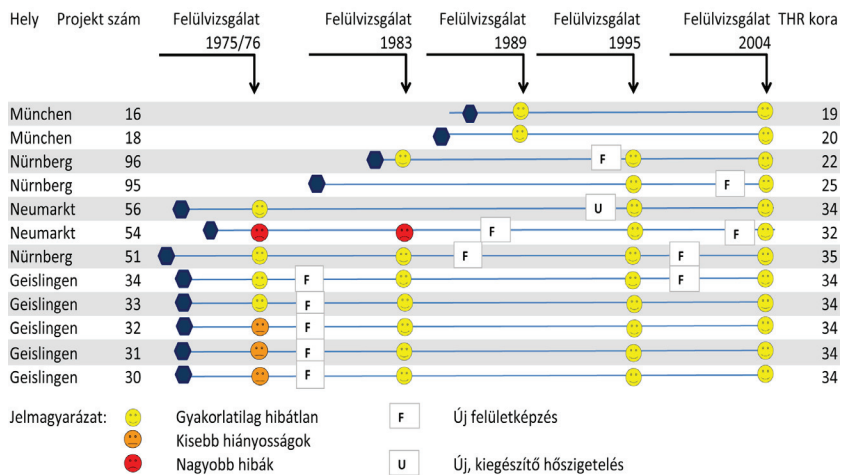
1. ábra Polisztirolhabok nyomószilárdságának változása az idő függvényében



2. ábra Polisztirolhabok hővezetési tényezőjének változása az idő függvényében, (15 kg/m³-re normált értékek)

1995-ben az osztrák Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien (MA 39) megállapította, hogy a homlokzati hőszigetelő rendszerek esetében a vakolat öregedésével kell elsősorban számolni, de annak élettartama is biztosan több mint 30 év. A Dutch Building Research Foundation idén kiadott jelentésében a beépítés módját is figyelembe veszi, és a homlokzati hőszigetelések esetében az EPS termékek várható élettartamára több mint 75 évet ad meg. Véleményünk szerint viszont ezt az időt nem fogják kitölteni a hőszigetelő anyagok. Egyrészt azért, mert az épületek átlagos, tervezett élettartama 50 év, így nagy valószínűséggel az épület maga sem éri meg a 75. évet. Az EPS lemezek várható élettartama tehát több mint a védendő épületeké. Ha egy adott épület mégis túlélne a fenti fél évszázadot, az erkölcsi avulás miatt a szigetelő anyagok hamarabb érnek az életciklusuk végéhez. Az erkölcsi avulás az építőanyagok területén ugyan nem olyan gyors, mint a szórakoztató elektronikában, de szemmel láthatóan létezik. A 10-20 éve beépített 4-5 cm vastag hőszigetelés ma már nem elégséges, és kiegészítő hőszigetelésre, vagy az épület újrászigetelésére van szükség már ma is.

Milyen gyakran kell felújítani a hőszigetelt homlokzatokat? Az EMPA erre is végzett kutatásokat (lásd 3. ábra). Több tucatnyi épület vizsgálatából a legjellemzőbb 12 esetet kiemelve azt mondhatjuk, hogy a 20 évnél régebbi hom-



3. ábra Homlokzati hőszigetelések életciklus vizsgálata az elmúlt évtizedekben.
Építés, felülvizsgálat, felújítás, korszerűsítés.

lokzatokat a tulajdonosok többnyire akkor is felújítják, ha maga a homlokzat-képzés hibátlan (ilyen volt az esetek fele). Három hőszigetelés mutatott kisebb, és egy nagyobb hibát – mind a négy a hetvenes évek közepén készült. A hibák mértékére jellemző, hogy mindegyik épület új felületképzéssel (vakolással) javítható volt, és a javítás óta eltelt 20-30 év alatt nem jelentkeztek új problémák, a vizsgált épületek mindegyike hibátlan minősítést kapott. Egy esetben szigeteltek újra az amúgy jó homlokzatot: a régi hőszigetelő rendszer egy további 4 cm vastag hőszigetelést kapott a kilencvenes évek elején. Ez a megoldás is hibátlan már 20 éve.

Hazai gyakorlat

Magyarországon a termék 1966 óta ismert. A kezdeti „hungarocell” márkánév annyira közkeletű lett, hogy mára köznévvé vált, és a magyar köznyelvben az expandált polisztirolhabokat így hívják. A homlokzati hőszigetelő rendszerek is 1970 óta ismertek hazánkban, vagyis több mint 40 év tapasztalatával rendelkezünk.

Az Austrotherm Kft. 1991 óta gyártja a polisztirol hőszigetelő anyagokat. A korai beépítések egyike volt a győri Nyugdíjasok Házának hőszigetelése (lásd 4. ábra). Az épület homlokzata már 20 éve dacol az időjárás viszontagságaival, és bizony, a nagyváros szennyezett levegője is rajta hagyta a nyomát. Látható, hogy a svájci intézet szerinti felújítási idő lassan ennél az épületnél is elérkezik: egy újvakolással szebbé lehet varázsolni az épületet, de a vakolat alatti hőszigetelés még további évtizedeken keresztül fogja szolgálni energiatakarékossági céljainkat. Az eredeti hőszigetelés minőségében nem, de teljesítményében el tud avulni: a húsz évvel ezelőtti szigetelőanyag vastagságát ma már túl vékonynak tartjuk. A homlokzat esztétikai megújítását ezért célszerű az új elvárásoknak megfelelő többlet hőszigetelés elhelyezésével összekötni.



4. ábra A győri Nyugdíjsház homlokati részlete elkészülte után



5. ábra A győri Nyugdíjsház homlokzata napjainkban

Ismeretrendszerzés az épületszerkezettan területén

Molnárka Gergely
egyetemi tanársegéd
Széchenyi István Egyetem
Építészeti és Épületszerkezettani Tanszék
mgergo@sze.hu

DOI 10.18134/SZE-EET.2015.6

Absztrakt

Jelen írás átfogó képet kíván nyújtani az ismeretrendszerzés eszközeiről és javaslatot tesz az épületdiagnosztikai módszertani fejlesztéseket támogató szemantikai háló fejlesztésére, bemutatva azokat a részterületeket, ahol az ismeretek struktúrába rendezése hatékony segítséget nyújthat a szakértő számára.

Kulcsszavak: szemrevételezéses épületdiagnosztika, tudásrepresentáció, szemantikai háló

Bevezető

A tudásalapú rendszerek elterjedésével egyidőben kialakult az igény a tudásrepresentációs eszközök, tudástérképek elkészítésére is, amelyek az adott szakterületet érintő ismeretek kapcsolatrendszerét fedik fel. Az orvosi diagnosztikában hatékonyan alkalmazott eszköz, a szemantikai háló hatékony támogatást nyújthat az épületszerkezetek és építőanyagok témakörében elvégzett vizsgálatokhoz, különösképpen pedig az épületdiagnosztikai vizsgálatokhoz.

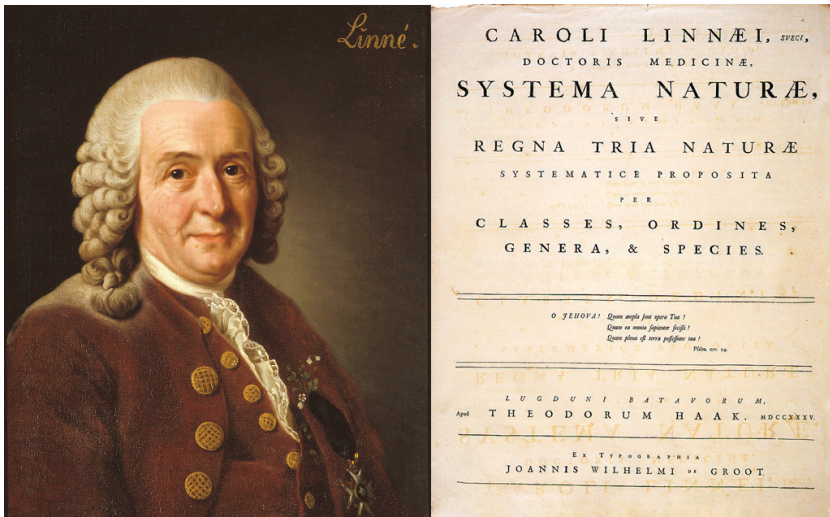
Az épületdiagnosztikával kapcsolatos ismeretek jelentős része szakmai tapasztalatokra épül. A főként empirikus úton összegyűlt ismeretek többnyire

rendelkezésre állnak az elérhető szakvéleményekben, műszaki szakkönyvekben és egyéb szakirodalmi forrásban, azonban a teljes, minden érintett területre vonatkozó tudás nincs (strukturált) halmazba rendezve. A szakterületre vonatkozó tudás a szakértők *közösségi tudásával* egyezik meg; e tekintetben illeszkedik az egyéb, átfogó tudásbázisok sorába.

Mindamellet, hogy a szemrevételezéses épületdiagnosztikai vizsgálatok több lényegi lépésénél (szerkezetbeazonosítás, elváltozási jelenség meghatározása, ok-okozati összefüggések feltárása, stb.) hatékony segítséget jelenthet egy strukturált és naprakész adatbázis, számos (a diagnosztika területétől távol eső) kutatás eredményének becsatornázásával és egy átlátható rendszerű hierarchiába rendezésével a teljes építéstudományra kiterjedő információ-áramlás is megvalósulhat.

1. Az ismeretrendszerezés módszerei

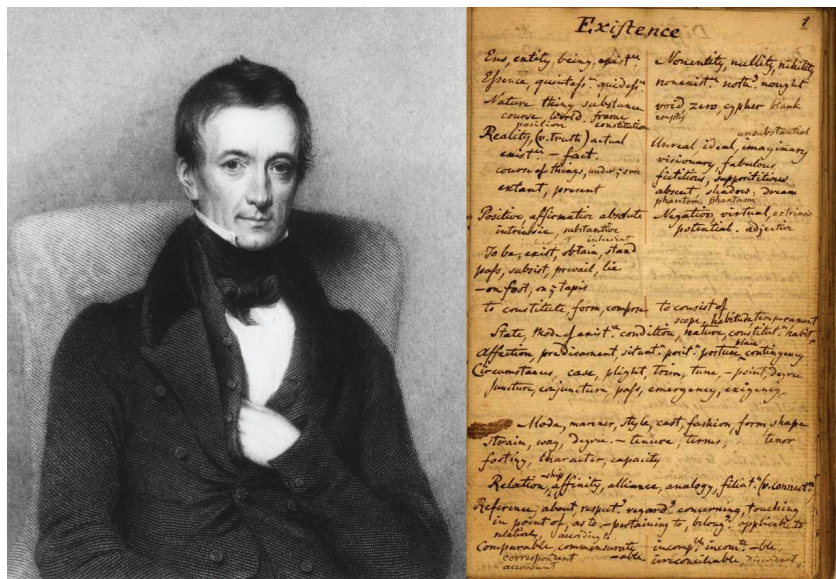
A rendszerezés alapelveinek meghatározását tekintjük a modern, mai értelemben vett tudomány kiindulópontjának (Carl von Linné, 1707-1778: *taxonómia*, l. 1. ábra). A természettudományi területen azóta a taxonómiát a



1. ábra Carl von Linné (1707-1758) és a „Természet osztályozásának elvei és kategóriái” c. jegyzet első kiadása, 1735-ből

kladisztika váltotta fel, azonban a numerikus taxonómia (fenetikus osztályozás, fenetika) továbbra is használatban van. A (tágabb értelemben vett) taxonómia térnyerése főként az információs túlterheltség, a végfelhasználók információs tudásbéli hiánya, az eltérő szervezeti struktúrák közötti szinkronizációs problémák megjelenésének köszönhető (egyik legismertebb taxonómia a DMOZ, korábbi nevén Open Directory Project). A taxonómia számos attribútuma (csúcskifejezések többszintű hierarchiája, automatikus indexelés támogatása, klaszterezési kapacitás, tezaurusz-kezelési képessége) elősegíti a kifejezések hatékony rendszerezését.

Az *ontológia* az ismeret vagy a tudás megosztásának kontextusában az ontológia a fogalomalkotás, fogalom-feltérképezés specifikációját, vagyis konkrét körülírását, megkülönböztetését jelenti. Gyakorlati oldaláról megközelítve egyfajta formális szerkezetű szótárként jellemezhető, melyet a mesterséges intelligencia területén tudásmegosztás és -felhasználás céljából készítenek. Az ontológia egy formálisan ábrázolt tudáshalmaz fogalmi leírásán alapszik: az objektumokról, fogalmakról és egyéb entitásokról feltételezik, hogy valamilyen érdeklődési körbe vont területen „léteznek” és köztük valamiféle viszonyok állnak fenn. A fogalmi leírás maga pedig elvont, egyszerűsített képe annak a világnak, amelyet valamilyen célból reprezentálni szeretnének. Minden tudásbázis, tudásalapú rendszer vagy tudás szintű ágens valamilyen fogalmi leírás-hoz kötődik, akár explicit akár implicit módon. Az ontológia e fogalmi leírás specifikációjának explicit formája. Az (információtudományi értelemben vett) ontológia a megosztott konceptualizálás formális, explicit leírása [1]. E tekintetben *megosztott*, hiszen az ontológia magáévá tette a megegyezéssel tudást, azaz nem személyi vagy individuális, hanem közösségi. A *konceptualizálás* a világ jelenségeinek absztrakt modellje, ahol a jelenségek releváns fogalma meghatározható; *explicit* a tekintetben, hogy a használt fogalmak típusa és a használat megkötöttségei egyértelműek; és *formális* abban az értelemben, hogy géppel olvasható (szabályok szerint leírt, előírással). A legismertebb ontológiai szótári eszköz a WordNet, ahol a tárolt kifejezések speciális relációi is felkutathatók, pl. a szinonimák, antonimák (ellentétes a jelentések), hiponimák („létezik valamiként”), meronimák („része a...” kapcsolat) – valamint a szóalakok egyéb morfológiai relációi. Az ontológiát információkeresés mellett a gépi fordítások elkészítéséhez és a tudásmenedzsmentben alkalmazzák.



2. ábra Roget és az első tezausz (szinonimaszótár), 1852

A tezausz (θησαυρός=„kincsesház”) egyfajta logika szerint rendezett szavak gyűjteménye. Másképp fogalmazva: természetes nyelven kifejezett fogalmak olyan tartalmilag szabályozott, szükség szerint változtatható szótára, amelyben feltüntetik a legfontosabb fogalmi összefüggéseket. A tezausz fő rendeltetése az információk feldolgozása és keresése [2]. A tezauszok közül elsőként P. M. Roget *Thesaurus*-a (2. ábra) említendő, mint legelső és eddig legjelentősebb tezausz: a gyűjtemény az angol nyelv első szinonimaszótára volt. Szerkezete a szavak és frázisok jelentésének hasonlóságán alapszik (*verbal classification* – Roget; azonban az „osztályozás” nem helytálló kifejezés, hiszen az első tezauszok nem alkalmaztak osztályozási technikát). Roget a természettörténet akkor még uralkodó iskolájához igazodik, amely az élőlények rendszerezésében szintén a hasonlóságot tekintette mérvadónak. Közvetlen előzményként a XVII. század angol nyelvész, J. Wilkins által létrehozott mesterseges, filozófiai nyelv tekinthető, amely az egyetemes kommunikációt elősegítő, a nyelvi kétértelműség leküzdése érdekében készült. A tájékoztatástudomány területén alkalmazott koordinált indexeléshez (M. Taube) használt módszer a terminológiák kapcsolatait tárja fel. A rendszerezés alapelve, hogy a kifejezések egymáshoz való viszonyát határozza meg. A rendszerbe foglalt szavakat

lexikai egységekbe foglalja (ismeretterületek, tudományok, szakkifejezések, tevékenységek termékek intézmények, testületek, formai kifejezések stb.) [3]. A mechanizált teauruszok alkalmazása során komoly nehézséget okozott a tárgyszavak rendszerezése, amennyiben azok rokon értelmű kifejezéseire is kiterjesztjük az osztályozás rendszerét. A dilemma leküzdésére Vickery a fazettás osztályozás alkalmazását javasolta [4]. A fazettás osztályozás és a teaurusz kombinációjaként létrehozott *tezaurofazetta (thesaurofacet)* (1969) megoldást jelentett egyfajta, információ-visszakeresésre is alkalmas kifejezés-gyűjtemény létrehozására [5, 6]. A teauruszok a lyukkártyák térnyerésével jelentek meg, de számos online szótár és statikus kereső napjainkban is ezek struktúrájára épül. A web-alapú keresők megjelenésével a különböző teauruszok közötti kapcsolatok igénye is felbukkant, ahol a kifejezések közötti hierarchikus, asszociatív és ekvivalenciarelációk hálózata teremti meg az átjárhatóságot. Jelenleg is széles körű kutatások folynak az eltérő (rendezett) adatbázisok közötti keresésekre.

A fentiekkel párhuzamosan a mesterséges intelligencia és a szakértő rendszerek területén *szemantikai hálózatokat* (σημαντικός = jelentés) dolgoztak ki, melyek fogalmilag eléggé közel állnak a teauruszokhoz, azonban itt a hálózatok bemutatják a kifejezések jelentésbeli kapcsolatait [7]. A szemantikai hálózat sem előzmények nélküli eszköz (Ch.S. Peirce: egzisztenciális gráf, 1909); R.H. Richens: szemantikai háló, 1956). A jelenleg alkalmazott szemantikai háló alapja Quillian nevéhez fűződik [8]. A módszer az emberi agy információ-tárolás és -visszakeresés modelljének elkészítését célozta meg. Alapvetése, hogy a kognitív működésre vonatkozó kísérletek az objektumok specifikus jellemzőinél gyorsabb válaszidőket eredményeztek mint az általános, magasabb szintű kategóriákhoz tartozó jellemzőknél. A háló csomópontjaiban az objektumok, koncepciók, fogalmak találhatók, míg a gráfélek azok viszonyait, kapcsolatait jellemzik. A kifejezésekhez tartozó ismeretek közös részeinek, kapcsolódási pontjainak vizuális térképét asszociatív hálónak is nevezik. A szemantikai háló fejlesztési irányai rendkívül szerteágazóak. Az interneten elérhető kifejezések közötti célzott keresést támogató eszközök a tagek (címkék) és a metaadatok közötti keresés fejlesztésére fókuszálnak. A módszer jelenleg is az információ-rendszerezést érintő kutatások homlokterében van, az elméleti hátteret és a gyakorlati fejlesztéseket tárgyaló szakirodalom meglehetősen sokrétű (a szakterület hivatalos folyóirata a *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, egyéb források: [9–11]).

A jelenleg alkalmazott eszközök átfogó összehasonlításához célszerű áttekinteni Gilchrist tanulmányát [12]. A rendszerezések során alkalmazott taxonómia, ontológia, teaurusz és az utóbbiból kifejlődő szemantikai háló között átfedések (bizonyos tekintetben ellentmondások) alakultak ki; a különbségtétel mindazonáltal elősegítheti a megfelelő eszköz kiválasztását. A zavart növeli az is, hogy a résztvevő szereplők egymástól eltérőek lehetnek: egy teaurusz az információtudomány képviselőire tartozik, a taxonómia az információtechnológusok és rendszerfejlesztők eszköze, az ontológia a filozófusoktól, valamint a biológiai rendszertani kutatások felől érkezett az intelligens rendszerek és az informatikai hálókutatás felé. Néhány tényező azonban kiemelhető:

- egyre nagyobb igény mutatkozik az adatok közötti relációk minél szélesebb körű megismerésére;
- az információmennyiség óriási tömegű, és mérete folyamatosan növekszik;
- ezek mellett azonban viszonylag olcsó számítógépes erőforrás áll rendelkezésünkre.

A teaurusz, taxonómia és az ontológia közös vonása, hogy a természetes nyelvvel foglalkoznak. A teauruszban a deskriptorok címkézhetők, csoportokba sorolhatók: erre születnek a csoportokat jelentő fogalmak és a tezaurofazetták. A taxonómia az automatikus kategorizálás során él az osztályozás és teaurusztechnika lehetőségeivel, ezáltal a kifejezések nagy száma esetén is áttekinthető marad. Az osztályozás lehetőséget teremt a fogalmak közötti kapcsolatok elemzésére, az asszociációkra. A szemantikai hálózatok pedig többet is jelentenek, mint amit a relációkról a teauruszok nyújtanak. A vizsgálatok kiterjednek a szavak széles körére, és mivel szövegfüggőek, többet adnak egy definíciónál vagy használatra vonatkozó megjegyzésnél is. Feltüntetik a szóalakokat, a morfológiai változatokat, a szintaktikai helyzetüket. Így jönnek létre a „gazdagított” teauruszok. Ezek az ontológiák alapvető összetevői.

Bármely ismeret-rendszerezési eszköz alkalmazása előtt célszerű kitérni az emberi gondolkodásmód (főként a kogníció és az osztályozás), valamint a számítógépes modellezés között tapasztalható lényegi eltérésre.

A webes keresőmotorok készítése során hangsúlyosabban merültek fel azok a kérdések, amelyek a teauruszok felépítésének sajátosságaira világítanak rá: a nyelvi többértelműségek az ún. *szótár probléma (vocabulary problem)* megjelenését eredményezik [13].

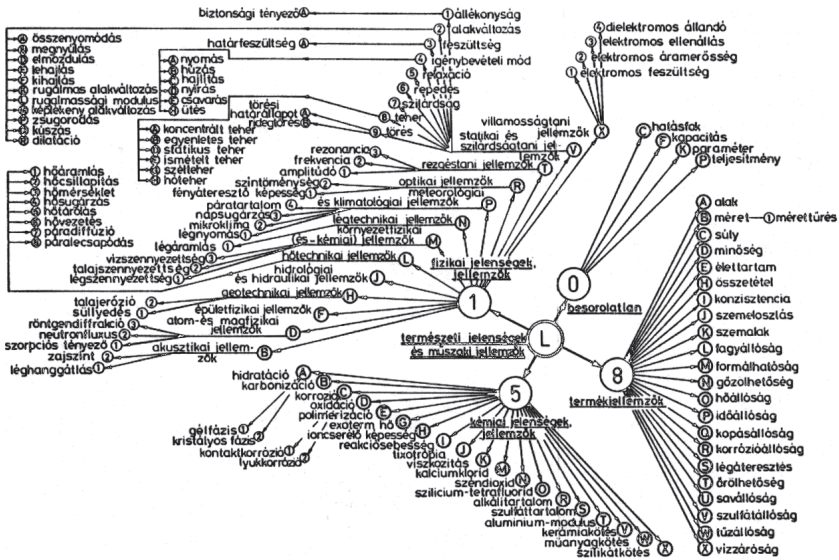
Az emberi értelem könnyen boldogul a szinonim szavak helyettesítésével és az adott esetben elenyészőnek tűnő különbségeket minden probléma nélkül negligálja. Fontos sajátossága az emberi gondolkodásmódnak továbbá a perceptuális kategorizáció (PK) [14], [15], amely készség a jelenségek, tárgyak strukturált hierarchiába rendezését teszi lehetővé (pl. a szakértők között a helyszínen készített és az előregyártott vasbeton szerkezetek sajátosságai egyértelműek).

2. Ismeret-rendszerezési előzmények az építéstudomány területén

A műszaki ismeretrendszerezés fejlesztésében mérföldkönek tekinthető Zwicky által 1969-ben publikált morfológiai rendszerezés elmélete, amely az ismerethalmaz strukturálását az egyes elemek kapcsolati rendszerére építette [16]. Ez a segédtechnika leginkább a numerikus taxonómiához áll közel.

Az Építéstudományi Intézetben (ÉTI) Kunszt irányítása alatt az 1964–66 közötti időszakban begyűjtött témalapok alapján a '70-es években kezdtek hozzá az építéstudomány területén végzett kutató-fejlesztő munkák tárgyszavainak rendszerezéséhez, amely összhangban volt az UNESCO 1970-ben kiadott irányelveivel. Az ily módon elkészülő teaurusz célja – az építőiparban és az ahhoz szorosan kapcsolódó tudományterületeken folyó nemzetközi kutatások feltérképezése és rendszerezése – jelentősen meghatározta az adathalmaz feldolgozásának módszerét (az ÉTI teaurusza is a lyukkártyás rendszer működéséhez készült el). A szógyűjtemény elkészítését komoly gráfelméleti kutatómunka előzte meg [17]. Noha a CIB által is támogatott munka a tudományterület nemzetközi harmonizációját is lehetővé tette volna, a teaurusz teljes megvalósulását az akkor rendelkezésre álló számítástechnikai eszközök fejlettségi szintje akadályozta. A (szűk körben) publikált „torzó” azonban több szempontól is iránymutatónak bizonyult. A teaurusz jellegzetes felépítését ilusztrálja a 3. ábra.

Az épületszerkezetek tervezésének módszereit vizsgálva, Petró [18] rámutat a információ-rendszerezés szükségességére, melynek háttereként az ÉTI teauruszát képzeli el. Alkalmazandó segédtechnika gyanánt ismerteti Zwicky morfológiai rendszerezését is.



3. ábra A természeti jelenségek és műszaki jellemzők fagráfja [24]

3. Ontológia / szemantikai háló alkalmazása az épületszerkezetekre vonatkozó ismeretek rendszerezéséhez

Az épületszerkezetek beazonosítása és az elváltozások kiértékelése a nagy számú szerkezet-kialakítási lehetőség, illetve az eltérő anyagú szerkezetek együttes kombinációjának előfordulási sokfélesége miatt a szakértő részéről következetességet és komoly szakértelmet igényel. Munkájában nehézséget okoz az, hogy jelenleg nincs átfogó rendszere az e téren összegyűlt ismereteknek, ami egyrészt támogatná a szerkezet-beazonosítást, másrészt a tapasztalt jelenség teljes körű megismerését.

Az épületszerkezetek és az építőanyagok kifejezéseinek rendszerezésére korábban kifejlesztett eszközök (pl. a „klasszikus” teaurusz és a morfológiai adatstruktúra) működését számos tényező korlátozza. Ezek között az osztályozási nehézségek (a szótárak egyedei egyszerre több osztályba is tartozhatnak), a leíró kifejezések rendszerezésének problémái (pl. szinonimák vö. „tiltott szavak” – Kunszt), a többszörös összefüggés-rendszerben nehezen definiálható „fiók”, „alfiók” struktúra (a morfológiai rendszeren belül), valamint az adatbázisok statikus jellege (utólag nem módosítható és nem kiegészíthető rendszerek) a

leglényesebb okok, amelyek a rendszerezések elkészítését és elterjedését megakadályozták.

Egy szakszerűen kialakított struktúrával rendelkező ontológia alkalmas bármely szakterület többdimenziós jellemzőkkel rendelkező ismereteinek, így az épületdiagnosztikai ismeretek (az épületszerkezetek és építőanyagok, az elváltozások ok-okozati összefüggését feltáró és leíró kifejezéseinek) logikus és szisztematikus rendszerezésére is. Az ontológia belső összefüggésrendszere az egyes épületszerkezeteket, jelenségeket fontos háttér-információkkal képes el látni. Ugyan nem állítható, hogy egy ily módon elkészült adatbázis helyettesítheti a szakértői tudást, azonban egy konzisztens ontológiai struktúrára építve intelligens tudásbázis generálható, ami a szakértőnek az adott vizsgálat során áttekintési lehetőséget nyújt az adott elváltozást érintő épületszerkezeti attribútumokról és azok közötti összefüggésekről. Az ontológiai struktúra sokszoros összefüggésrendszerével képes lefedni az épületszerkezetek, építőanyagok lehetséges kombinációit, amihez az elváltozási jelenségek adathalmazához zárendelhető. A rendszerezéshez a szerző a stanfordi egyetemen fejlesztett és karbantartott *Protégé* nyílt forráskódú ontológia (szemantikai háló) szerkesztő platformot alkalmazta. A Java környezetre épített, jól kezelhető grafikus felülettel rendelkező tudásreprezentációs szoftver az OWL (Web Ontology Language) szabványra épül. Az applikáció főbb attribútumait és szélesebb körben alkalmazott ontológiákat tárgyalják a [19–21]. Az építéstudományi kutatások során is előtérbe kerültek a különféle közösségi hálók tudásreprezentációs és -megosztó képességei [22, 23].

A javasolt módszer a korábban alkalmazottaknál nagyobb „szabadságfokkal” rendelkezik mind az osztályozás mind pedig a relációk kezelése terén. A teaurusz szigorú struktúrájához képest lazább, de egyértelmű megfeleltetést tesz lehetővé: bizonyos elemek több, egymástól független osztályba tartozása is megoldható, amely korábbi dilemmák feloldását is eredményezi (kitűnő példa erre a VÍZSZIGETELÉS alosztály egyszerre történő alkalmazása TALAJBAN LÉVŐ SZERKEZETEK VÉDELME és CSAPADÉKVÍZ-SZIGETELÉS osztályok hierarchiájában). Az eltérő jellegű relációk együttes használata jelentős komplexitás-redukciót eredményez az adatbázis-kezelésben. Ehhez hasonló kérdéskör az épületszerkezetek specifikációit (elkészítés módja, épületen belüli pozíció, stb.) leíró

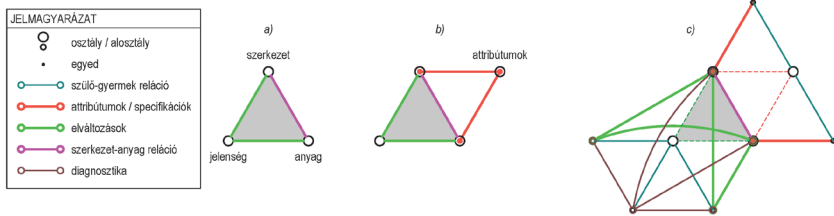
attribútumok kezelése, amelyek egy külön csoportba rendezve minden épületszerkezethez hozzárendelhetővé válnak, elkerülve a felesleges ismerethalmozás veszélyét.

A fentieket összegezve megállapítható, hogy az ontológia rendszere alkalmas arra, hogy az épületszerkezeteket, építőanyagokat leíró kifejezéseket *többdimenziós metaadat-struktúraként* értelmezzük, és ezáltal az egyes tulajdonságokat, specifikációkat önállóan definiáljuk. Ezáltal az adatstruktúra hatékonyabban képes kezelni a beépített vagy hozzárendelt információkat.

3.1. Az adatbázis felépítése

Az adatbázis elkészítése az *osztályok* és a hierarchikus struktúra definiálásával, és az alkalmazandó relációk definiálásával kezdődik. A teljes rendszer végét az osztályok (azon belül tetszőleges számú alosztályok) hierarchiája (szülő csúcok és gyermekek struktúrája), az egyedek (példányok) és az ezek egymás közötti *relációit* definiáló *tulajdonságok* adják. A tudás-reprezentáció teljessé tételéhez a szemantikai háló egyéb funkciói nyújtanak további segítséget. Ezek közül kiemelt jelentősége van az *annotációnak*, amely járulékos információk (pl. a szerkezet pontos leírása, alkalmazásának körülményei, stb.) hozzárendelését teszi lehetővé az osztályok szintjén és az egyedek szintjén egyaránt.

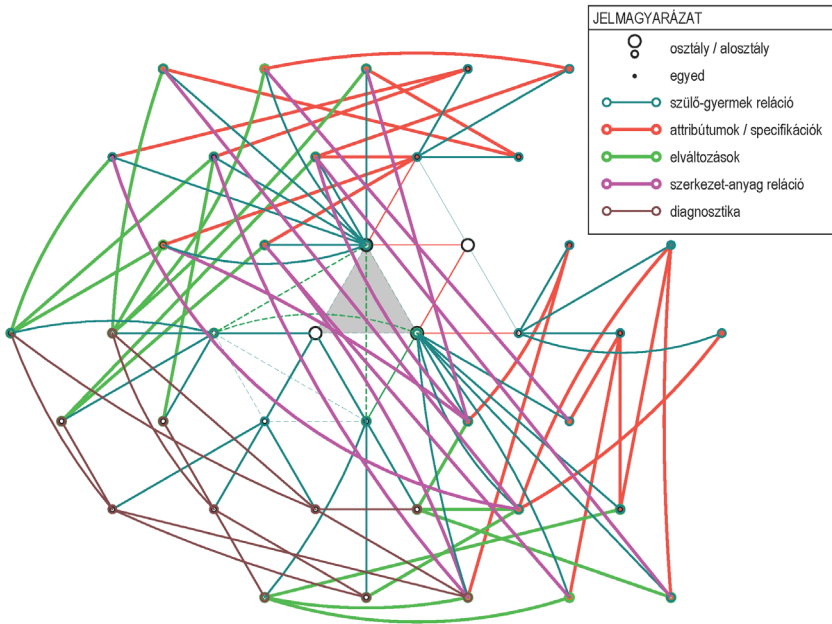
A megfogalmazott irányelveket (folyamatos fejleszthetőség, egyértelmű relációk, egyszerű struktúra, stb.) követve az adatbázis hierarchiájának legfelső szintjén három osztály fedl le a teljes ismerethalmazt: a SZERKEZET; ANYAG és a JELENSÉG. Az osztályok közötti kapcsolatokat a *tárgy tulajdonságként* meghatározott EZ_A_JELENSÉG_FORDUL_ELŐ_VELE elnevezésű reláció, valamint az EBBŐL_KÉSZÜLT és EZ_KÉSZÜLT_BELŐLE elnevezésű, egymás inverz relációi jelentik (a struktúra csúcstól l. 4.a. elvi ábrán). A szerkezet és az anyag osztályok az EZ_JELLEMZŐ_RÁ tárgy tulajdonsággal kapcsolódnak egyfajta, a specifikációkat és különböző tulajdonságokat tartalmazó attribútum osztályhoz (l. 4.b. ábra). A JELENSÉG szülő csúcshoz három gyermek tartozik (HIBAKATEGÓRIA, ELVÁLTÓZÁS, JELENSÉGEK_VIZSGÁLATA), amelyek közötti relációk pl. a jelenségek oksági viszonyait tárják fel. A SZERKEZET és ANYAG csúcok egyaránt kapcsolódnak ezekhez a gyermek csúcshoz, ahogyan az ATTRIBÚTUM alosztályaihoz (SZERKEZETI_ATTRIBÚTUM, ANYAG_ATTRIBÚTUM) is (l. 4.c. ábra).



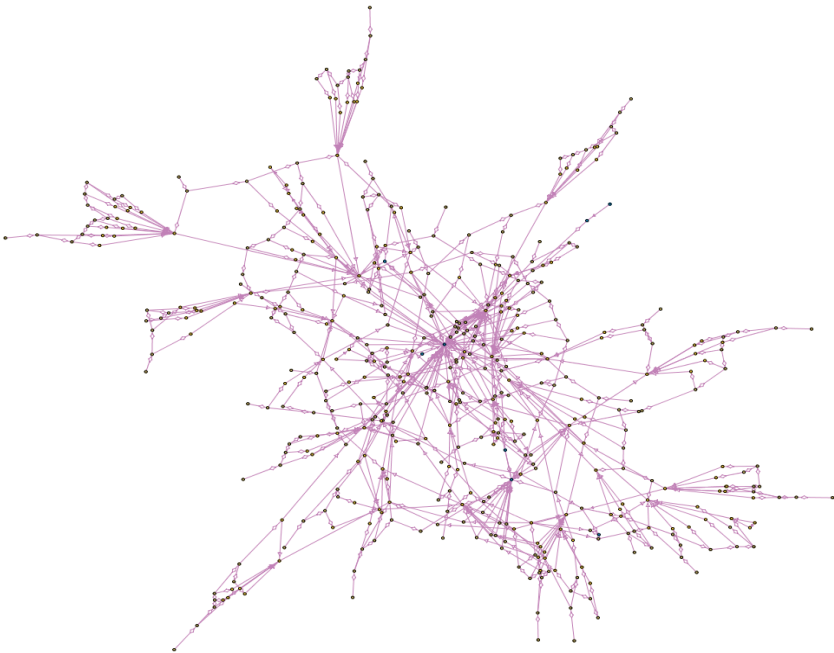
4. ábra A teljes ontológia struktúra csúcsának „kifejtése”. a) a struktúra csúcsai; b) a csúcsokhoz rendelt attribútum osztály; c) szülői csúcsok közvetlen relációi - élek (elvi ábra)

Az ANYAG alosztályainak meghatározása egyszerű volt: az alosztályok (gyermek) az eredet szerint kerültek meghatározásra (FÉM, NÖVÉNYI_SZÁRMAZÉK, ÁSVÁNYI_SZÁRMAZÉK, KŐOLAJSZÁRMAZÉK, ÜVEG). Az egyes kombinált építőanyagok esetében az építőanyagokhoz rendelt ATTRIBÚTUMOK között található a kiegészítő építőanyagok vagy módosítók (ahogyan pl. a hordozóréteg a vízszigetelő lemezek esetében). Az így kialakult alosztályok – a vonatkozó szakirodalom felhasználásával – a fenti logikát követve voltak meghatározhatók.

A SZERKEZET osztály közvetlen alosztályainak meghatározása az épületben betöltött funkciója alapján történt meg (14 alosztállyal). A kidolgozott hierarchiában az alosztályok definiálásánál az adott épületszerkezeti csoport funkciója volt a meghatározó. Az osztályozás sajátossága, hogy a RÉTEGRENDI_ELEM és a KIEGÉSZÍTŐ_ÉPÜLETSZERKEZET önálló alosztályként szerepel a többi épületszerkezeti osztály között. Némi magyarázatot igényel ennek a két alosztálynak a megjelenése a hierarchia magasabb fokán. A RÉTEGRENDI_ELEM osztály foglalja magába mindazokat az épületszerkezeti elemeket, amelyek együttesen jellemző rétegrendeket képeznek (pl. átszellőztetett homlokzatburkolatot vagy lapostetőt), valamint azokat az elemeket, amelyek kizárólag társult szerkezetként jelenhetnek meg egy épületben (pl. felületképzés, hő- és hangszigetelés, stb.). Ennek ellenére, sok elváltozás kiértékelésénél válik szükségessé az egyes rétegrendi elem egyedi sajátosságainak megismerése (másképp fogalmazva: rétegrendként kezelve nehézségekbe ütközik az információk hozzárendelése az egyes elváltozásokhoz és építőanyagokhoz), a KIEGÉSZÍTŐ_ÉPÜLETSZERKEZET különválasztása mögött is hasonló vezérelvek fedezhetők fel: számos tönkremenetelt és egyéb jelenséget okoz sok olyan épületszerkezet, amely funkciója miatt nem sorolható be a többi osztályba, azonban az ismeretek hozzárendelése igényli az osztály-szintű halmazt.



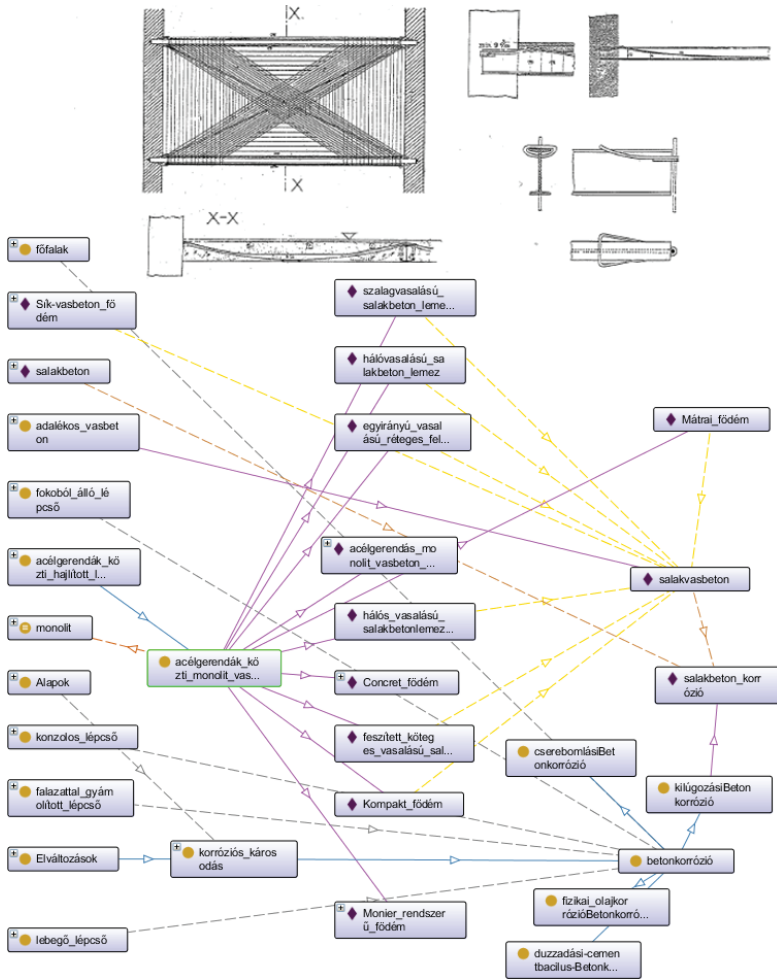
5. ábra Az ontológia osztályai és relációi egy közbenső szinten (elvi ábra)



6. ábra Az épületdiagnosztikai ontológia információ-hálójá, „tudástérkép” (NavigOWL modul)

Fő osztály	Osztály (ABC sorrend)	Alosztályok száma	Egyedek száma
Épületszerkezet	Alapok	2	15
	Egyéb térelválasztó ~	4	28
	Fedélszerkezet	5 / 7 / 2	33
	Függőleges teherhordó ~	2 / 5 / 3	22
	Függőleges térelhatároló ~	2 / 10 / 5	34
	Gépészeti szerkezet	5 / 9 / 7 / 9 / 6	10
	Kiegészítő ~	7 / 7 / 12 / 13 / 12	29
	Lapostető ~	3 / 3 / 4 / 4 / 4	2
	Nyílászáró ~	6 / 21 / 7 / 2	29
	Rétegtrendi elem	12 / 18 / 34 / 22 / 20 / 38	163
	Szintáthidalás	2 / 17	8
	Vízszintes teherhordó ~	4 / 6 / 5 / 7 / 4	81
	Vízszintes térelválasztó ~	2 / 4	15
	Nagyteres külső térelhatároló ~	3 / 6 / 12	
	Építőanyag	Fém	3 / 2
Kőolajszármazék		2 / 5 / 8 / 2	57
Növényi származék		4 / 7 / 8 / 2 / 2	62
Ásványi származék		4 / 18 / 10 / 3	82
Üveg		9 / 2 / 4	18
Jelenségek	Elváltozások	5 / 25 / 35 / 22	
	Hibakategóriák	6 / 23 / 39 / 8 / 13	
	Jelenségek vizsgálata	11 / 8 / 11	
Attribútumok	Építőanyag attribútumok	2 / 4	
	Épületszerkezeti attribútumok	14 / 11	115
A szemantikai háló további tulajdonságai			
Egyedek és osztályok száma (axiómák)			3709
Logikai axiómák száma			1911
Osztályok száma			770
Tárgy tulajdonságok száma			9
Egyedek száma			924
Szülő-gyermek reláció			798

1. táblázat Az adatbázis struktúra lényegi tulajdonságai



7. ábra A Mátrai-födém és kapcsolati rendszere az ontológián belül (OntoGraf modul alkalmazásával)

Az így kialakult struktúra gyermek csúcsai és a többi fő osztályok gyermek csúcsai között is többféle reláció alakult ki, egy alacsonyabb szinten (l. 5. ábra).

Az ismertetett módon rendszerezett (teljes) adathalmazban kialakult információ-kapcsolatok áttekinthetőségét az alkalmazott szoftver dinamikus grafikus felületei gráfokkal támogatják („tudástérkép”), ahol a gráf csomópontjaiban az osztályok és az egyedek találhatók, az ezeket összekötő (irányított) élek az osztályok és egyedek relációit fejezik ki. A gráfot és annak egy részletét

mutatja be a 6. ábra. A többdimenziós relációk vizuálisan nehezen jeleníthetők meg statikus állapotban (ez okozza azt, hogy a leközölt ábrán semmiféle rendezettség nem fedezhető fel), az alkalmazott eszköz dinamikus felülete viszont érzékletesen ábrázolja ezeket a relációkat.

A szisztematikus rendszerezés következtében egy átlátható hierarchia jött létre, ahol minden egyed logikusan betagozódik valamely al- vagy alalosztályba. A hierarchia sarokszámait a 1. táblázat mutatja be.

Az elkészült ontológia (szemantikai háló) lényeges tulajdonsága annak dinamikus fejleszthetősége (az elkészült specifikus ontológia részletét mutatja be a 7. ábra.). Ez a sajátosság a gyorsan fejlődő építőipari területen rendkívüli jelentőséggel bír, hiszen az újonnan kialakult épületszerkezetek és építőanyagok, valamint ezek kombinációja könnyedén beilleszthető a már kialakult struktúrába.

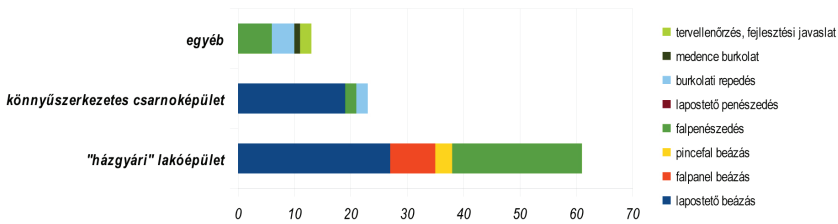
A kiválasztott eszköz előnye más szemantikai hálókhoz képest, hogy a rendszer lehetőséget teremt a különböző szakterületi szakértők közötti együttműködésre. Ennek következtében a tudás-reprezentáció, valamint maga a tudásbázis még inkább tényyszerűvé és megalapozottá válik.

3.2. Szakértési jegyzőkönyvek alkalmazott kifejezés-gyűjteménye

Az elkészített ontológiát felhasználva a kutatás során a megvizsgáltuk az épületdiagnosztikai szakértési jegyzőkönyvek egy reprezentatív mintáját (97 szakértési jegyzőkönyvet elemeztünk, amelyet a BME Épületszerkezet-tani Tanszéke bocsátott rendelkezésünkre). A jegyzőkönyvek megállapításaihoz alkalmazott kifejezéseket az ontológia struktúrájába illesztettük, majd elemeztük a létrejövő relációkat a SZERKEZET; ANYAG; JELENSÉG osztályai, alosztályai és egyedei között. A vizsgálat során arra kerestük a választ, hogy a szakértési munkák milyen tönkremeneteleket tárgyaltak, illetve milyen összefüggéseket állapítottak meg a szerkezetek, építőanyagok és az elváltozások között.

Az 1982 és 2004 között készült jegyzőkönyvek tárgyának megoszlása épülettípusonként és meghibásodásonként a 8. ábra diagramjáról olvasható le.

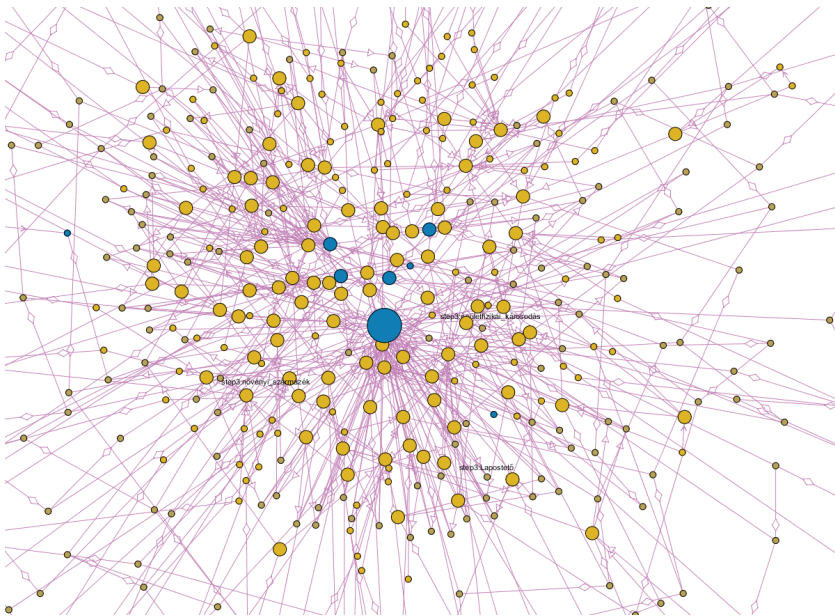
A vizsgálatok célja eltérő volt (felelősségi körök megállapítása, szavatossági és jótállási kérdések, általános igazságügyi szakértés stb.), azonban minden



8. ábra A szakértési munkák megoszlása épülettípusonként és meghibásodásonként

esetben lényeges szerep jutott az ok-okozati összefüggések leírásának. Ezt felhasználva a szerző (az ontológiában alkalmazott tárgy tulajdonság relációkkal) feltérképezte a tapasztalt jelenségek, a vizsgált szerkezetek és az anyagok közötti kapcsolatrendszerét. Az így kialakult szemantikai hálóban megjelentek azok a „súlypontok”, amelyek a jegyzőkönyvekben tárgyalt tönkremenetek előfordulásait és azok okozati összefüggés-rendszerét tükrözik.

Az alkalmazott ontológia grafikus felületén keresztül előhívható súlyozott asszociatív háló látványosan kiemeli a gyakoriság szempontjából leginkább kritikus jelenségeket (l. 9. ábra).



9. ábra A jegyzőkönyvi tönkremenetek előfordulási gyakoriságát illusztráló szemantikai háló (NavigOWL)

Az kidolgozott szemantikai háló nagy előnye, hogy a létrehozott relációk segítségével egyfajta szakértői tudás (így a korábban tapasztalt tönkremenetel ok-okozati és egyéb összefüggései) épül a struktúrába, amely egy éppen aktuális vizsgálat esetén könnyűszerrel előhívható. A szakértő ezen keresztül áttekintheti az előző szakértési munkák során megállapított jellemző kapcsolatokat az elváltozások tekintetében, így az adott vizsgálat során azok tapasztalatait képes felhasználni. Ez azt jelenti, hogy a kidolgozott épületdiagnosztikai ontológia nem csupán egy strukturált kifejezésgyűjtemény, hanem egyfajta, *közösségi tudást* reprezentáló módszertani eszköz, amely hatékonyan képes támogatni az épületdiagnosztikai vizsgálatok elvégzését.

4. Az alkalmazott ismeretrendszerezés korlátai

A rendelkezésre álló, az épületszerkezeteket definiáló szakirodalmi forrásokat az jellemzi, hogy az egyes osztályokat, egyedeket leíró kifejezések eltérőek, így azok harmonizációjának elvégzése nehézségekbe ütközik. Az esetleges elmentmondások feloldása érdekében a szerző saját rendszert alkalmazott, ahol feltünteti az egyes források sajátos rendelkezéseit.

Az alkalmazott eszköz hátrányaként említendő, hogy a szerkezet-beazonosítást, valamint az elváltozás prezentálását nagymértékben megkönnyítene egy típuscsomópont vagy jellemző tönkremeneteli kép hozzárendelése a kifejezésekhez, azonban az eszköz jelenleg nem alkalmas a képek belső tárolására. Amíg maga az ontológia alkalmas nem lesz erre, külső hivatkozások beillesztésével (annotációk alkalmazásával) tehetők elérhetővé a fontosabb illusztrációk.

A kidolgozott modell érvényességét illetően megjegyzendő, hogy bizonyos szempontok felülírhatják a kidolgozott módszer struktúráját (pl. egyes szakvizsgálatok más preferenciát igényelhetnek).

5. Továbbfejlesztési javaslatok

Az adatbázis hierarchikus struktúrába rendezve tartalmazza az épületszerkezetekkel és azok jellemzőivel összefüggő elváltozásokat. Az elváltozások megjelenéséhez azonban peremfeltételek is rendelkeznek: egyszerű, fuzzy produkciós szabályok segítségével bizonyos jelenségek egyértelmű előfeltételei is meghatározhatókká válnak. Ilyen módszerrel többek között az összeférhetlen

anyagú rétegrendi elemek reakcióiból származó elváltozások, az egyes tipikus épületszerkezeti tönkremenetelek (pl. lapostető szigetelési problémák), valamint épületfizikai jelenségekből adódó hibák háttére lesz könnyen előkereshető az adatbázisból.

6. Az épületdiagnosztikai tudásbázist támogató ontológia készítésének konklúziói

A kidolgozott épületdiagnosztikai ontológia számos tekintetben kedvezőbbnek bizonyul a korábban e területen alkalmazott ismeret-rendszerezési eljárásokkal szemben. Röviden összefoglalva az alábbi előnyök szólnak a módszer gyakorlati alkalmazása mellett:

- többretű kapcsolatrendszere lehetővé teszi az épületszerkezetek, építőanyagok és elváltozási jelenségek többdimenziós jellemzőinek leírását;
- dinamikus fejleszthetősége a folyamatosan bővülő épületszerkezet és építőanyag állomány követésére alkalmassá teszi;
- a bemutatott eszköz támogatja a szemantikai háló kooperatív (közösségi) fejlesztését és kontrollját;
- az ontológián belül lehetőség van az egyes specifikus épületállományok önálló elemzésére és a vele kapcsolatos ismeretek tudásreprezentációjára;
- a korábbi szakértési eljárások tapasztalatait beépítve a szemrevételezéses eljárásokban hatékony módszertani segédeszközként támogatja a tönkremenetelek elemzését.

A dolgozat szerzője fontosnak tartja újfent leszögezni, hogy az épületdiagnosztika szakterület fejlesztésében alapvető feladat az ismeretek logikus rendszerben történő tárolása. A javasolt egyszerű módszer alkalmazásával az ismeretek *Augeiasz istállója* könnyedén rendbe hozható (ha nem is egy nap alatt).

Szakirodalom

- [1] B. C. Vickery, "Ontologies," *J. Inf. Sci.*, vol. 23, no. 4, pp. 277–286, Aug. 1997.
- [2] "MSZ 3418-87 Magyar nyelvű információkereső tezauszok szerkezete, részei és formái," Magyar Szabványügyi Hivatal, Budapest, 1987.
- [3] R. Ungváry, *Tezausz technológia. Az információkereső tezauszok készítésének folyamata*. Budapest: Országos Széchényi Könyvtár, Könyvtártudományi és Módszertani Központ, 1979.
- [4] B. C. Vickery, *Faceted classification: a guide to construction and use of special schemes*, [1st ed.] reprinted with additional material. London: Aslib, 1968.
- [5] J. Aitchison, A. Gomersall, and R. Ireland, *Thesaurofacet a thesaurus & faceted classification for engineering & related subjects*, 3.Aufl., rev. Leicester: English Electric Co. Ltd, 1969.
- [6] J. Aitchison, A. Gilchrist, and D. Bawden, *Thesaurus construction and use a practical manual*. London: Aslib IMI, 2000.
- [7] J. F. Sowa, "Semantic Networks," *Encyclopedia of Artificial Intelligence*. Wiley&Sons, 1992.
- [8] R. Quillian, "A Notation for Representing Conceptual Information. an Application to Semantics and Mechanical English Paraphrasing," DTIC Document, 1963.
- [9] M. Willer, *Bibliographic information organization in the semantic web*. Oxford: Chandos Pub, 2013.
- [10] B. Cope, M. Kalantzis, and L. Magee, *Towards a semantic web: connecting knowledge in academic research*. Oxford: Chandos Publishing, 2011.
- [11] E. I. Papageorgiou, C. Huszka, J. De Roo, N. Douali, M.-C. Jaulent, and D. Colaert, "Application of probabilistic and fuzzy cognitive approaches in semantic web framework for medical decision support," *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 112, no. 3, pp. 580–598, Dec. 2013.
- [12] A. Gilchrist, "Thesauri, taxonomies and ontologies – an etymological note," *J. Doc.*, vol. 59, no. 1, pp. 7–18, Feb. 2003.
- [13] H. Chen, C. Schuffels, and R. Orwig, "Internet Categorization and Search: A Machine Learning Approach," *J. Visual Comm. Image Representation*, vol. 7, no. 1, pp. 88–102, 1996.
- [14] Z. Vass, "A pszichiátriai diagnózis többértékű logikája: prototipikus kategóriák, szignáldetekciós elmélet és fuzzy tagsági függvények," *Pszichológia*, vol. 21, pp. 353–370, 2001.
- [15] S. Grossberg, "Adaptive Resonance Theory: How a brain learns to consciously attend, learn, and recognize a changing world," *Neural Netw.*, vol. 37, no. 0, pp. 1 – 47, 2013.
- [16] F. Zwicky, *Discovery, Invention, Research through the morphological approach*. Macmillan, 1969.

- [17] G. Kunszt, *A tudományos kutatás logikai modellezése és tematikai irányítása. Általános elmélet és építéstudományi alkalmazások. Tudományszervezési füzetek.* Akadémiai Kiadó, Budapest, 1975.
- [18] B. Petró, *Az épületszerkezettan és az épületszerkezetek tervezése.* Budapest: ÉTK, 1991.
- [19] T. Tudorache and N. Noy, “Collaborative Protégé,” in *10th International Protégé Conference, Budapest, Hungary, 2007*, p. 3.
- [20] M. Strohmaier, S. Walk, J. Pöschko, D. Lamprecht, T. Tudorache, C. Nyulas, M. A. Musen, and N. F. Noy, “How ontologies are made: Studying the hidden social dynamics behind collaborative ontology engineering projects,” *Web Semant. Sci. Serv. Agents World Wide Web*, vol. 20, pp. 18–34, 2013.
- [21] M. Horridge, T. Tudorache, C. Nuytas, J. Vendetti, N. F. Noy, and M. A. Musen, “WebProtégé: A Collaborative Web Based Platform for Editing Biomedical Ontologies,” *Bioinformatics*, p. btu256, 2014.
- [22] Q.-T. Le and C.-S. Park, “A social network system for sharing construction safety and health knowledge,” *Proc. CIB W99 Int. Conf. Model. Build. Health Saf.*, pp. 121–131, 2012.
- [23] S. Zhang, J. Teizer, and F. Boukamp, “Automated Ontology-based Job Hazard Analysis (JHA) in Building Information Modelling (BIM),” presented at the Proceedings of the CIB W099 International Conference on “Modelling and Building Health and Safety,” 2012.
- [24] G. Kunszt, “Az Építéstudományi Intézet tematikai információs rendszerének teaurusza,” ÉTI, Budapest, 1974.

Padlószervezetek hőtechnikai modellezése és energiatudatos tervezésük

Nagy Balázs doktorandusz
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Építőmérnöki Kar, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék
nagy.balazs@met.bme.hu

DOI 10.18134/SZE-EET.2015.7

Kivonat

Az épületek hőveszteség-számításakor jelenleg a talajjal érintkező szerkezetek hőveszteségeinek figyelembevétele hordozza a legtöbb bizonytalanságot, mivel a talaj és szerkezetek anyagtulajdonságai és a folyamatosan változó külső környezeti tényezők miatt a szerkezetben többdimenziós, instacioner hőtechnikai állapotok uralkodnak. A kutatás keretében létrehozott és bemutatott új táblázatos módszer alkalmas lehet, hogy az épületenergetikai rendeletben szereplő jelenlegi táblázatokat felváltsa, annál lényegesen pontosabb közelítést adva a talajjal érintkező szerkezetek hőtechnikai viselkedéséről. A dolgozatban továbbá a talajjal érintkező szerkezetek hőveszteségeinek alakulását különféle paraméterek változásán keresztül elemezzük, mely szimulációs vizsgálatok elősegíthetik a padlószervezetek energiatudatos tervezését.

Kulcsszavak: épületfizika, épületenergetika, padlószervezetek, hőtechnikai szimulációk, VEM

1. A talajjal érintkező padlók hőtechnikai számítási eljárásainak áttekintése

Ahhoz, hogy összefüggésükben átláthassuk a talajjal érintkező szerkezetekre vonatkozó jelenlegi hőtechnikai számítási módszereket, melyeket mind az épületenergetikusok, mind pedig az épületszerkezeti tervezők alkalmaznak a padlószervezetek kialakításának meghatározásához, azok hőveszteségeinek számításához, nem árt megismerni a nemzetközi szakirodalmakban publikált módszereket, azok változatosságát, ezáltal pedig megismerni a számítási eljárások fejlődését.

1.1. Numerikus módszerek

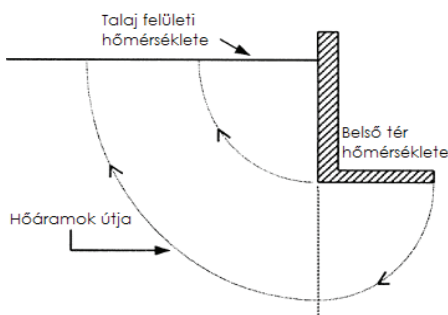
Hőtechnikai számítások során a numerikus módszerek alkalmazásához vezető utat általában a végeselem módszer (VEM) vagy a véges differencia módszer (VDM) jelenti. Az egyik első, talajjal érintkező szerkezetekre vonatkozó szimuláció is az explicit véges differencia módszeren alapult, mely során kísérleti földalatti menedékhelyek hő- és nedvesség transzportfolyamatait vizsgálták [Kusuda és Achenbach 1963]. A numerikus módszerek az évek múltán és egymásra is épülő publikációk és szabványokon keresztül (többek között a későbbiekben részletesebben is bemutatott hazai MSZ 04-140 táblázatosan összefoglalt eljárása mellett) jutottak el a kutatók odáig, hogy többdimenziós tranziens számítógépes szimulációk eredményeit nagymodell kísérletekkel ellenőrizték és igazolják [Rees et al. 2007].

Az Európai Szabványügyi Testület már 1998-ban adott ki szabványt, melyben a hőáramok és felületi hőmérsékletét szabályozta, ennek a szabványnak a jelenleg érvényben lévő változata az MSZ EN ISO 10211:2008. A szabvány leírja a padlószervezetek és falszerkezetek csatlakozásánál kialakuló vonalmenti hőhidak jellemzésére szolgáló vonalmenti hőátbocsátási tényezők számítási eljárását mind kétdimenziós szimuláció mind pedig háromdimenziós szimuláció esetén. A számítás során két opciót ajánl, egyik esetben a padlószervezet hőveszteségeit is tartalmazza a vonalmenti hőátbocsátási tényező (ezt a szemléletet képviselik a hazai számítási eljárások is), míg másik esetben a szimulációval megkapott hőveszteségekből nem csak a csatlakozó falszerkezet hőveszteségeit kell kivonni, hanem a padlószervezetét is. Ez utóbbit külön,

szeparáltan elvégzett szimuláció útján határozhatunk meg. A szabvány rögzíti továbbá, hogy 8 m-es belső hossznál szélesebb épületek esetén a veszteségeket elegendő a 8 m-es padló szerint meghatározni. Azonban a szabványban leírt módszerek egyike sem említi a geotermikus gradiens szerepét, azaz a földhő teljesen elhanyagolja.

1.2. Analitikus módszerek

Az analitikus megoldások során a tranziens hővezetés differenciálegyenletét részletes vizsgálatok, elemzések után létrehozott, egyszerűsített egyenletek segítségével oldjuk meg. Az analitikus eljárások során általában a legelső egyszerűsítés a probléma dinamikus voltának elhanyagolása és az egyenletek stacioner állapotra történő felírása.



1. ábra Hőáramok feltételezett útvonala [Latta és Boileau 1969] nyomán

Az egyik ilyen megoldást már a hatvanas évek végén Kanadában [Latta és Boileau 1969] publikálták, melyben a szerzők egy fűtött pince körüli földtömeg hőmérséklet eloszlásának mérési eredményei után jutottak arra a megállapításra, hogy a hőáram vonalak kör alakú útvonalat írnak le a pincefal és pincepadlótól a felszínig. A hővesztéseket ezáltal a talaj felületi hőmérsékletének és a belső tér léghőmérsékletének különbségétől, a pincefal és pincepadló hővezetési ellenállásától és a talaj hővezetési tényezőjétől valamint a kör alakú útvonalaknak a hosszától függnek (tehát a pincepadló mélységétől) az egyenletekben, ahogy az 1. ábrán is látható. Ez a számítási módszer azonban csak a felszín irányába tartó hőáramokkal foglalkozik, és amint az egyik épített szerkezet hőszigetelést is tartalmaz, a hőáramok útja megváltozik. Állandósult állapot feltételezése révén pedig a talaj hőtároló kapacitását szintén nem veszi számításba.

Az analitikus számítási eljárások a következő évek során folyamatosan fejlődtek és jutottak a nyolcvanas évekre odáig, hogy megoldást adtak periodikusan változó peremfeltételekkel rendelkező kétdimenziós esetekre, vagy akár háromdimenziós állandósult állapotú négyszögletes padlószerkezetű épületek hőveszteségeire is [Delsante 1983]. Ugyancsak analitikus számítási eljárásokat tartalmaz a jelenleg érvényben lévő, talajok hőátviteli folyamatainak egyszerűsített számítási módszereit tartalmazó MSZ EN ISO 13370:2008 szabvány is, mely gyakorlatilag svéd kutatók kilencvenes évekbeli publikációira épül [Claesson és Hagentoft 1991].

1.3. Fél-analitikus módszerek

A félig analitikus megoldások az előbbieken tárgyalt analitikus megoldási módokat vegyítik a numerikus módszerekkel megkapott eredményekkel. Megfelelő példa lehet az efféle eljárások megismeréséhez az a módszer [Kusuda és Bean 1984], melyben a peremérték-problémát Green-függvény felhasználásával dinamikus háromdimenziós hővezetési egyenlet felírásából oldották meg. A kutatásban a hőszigetelt padlószerkezet hőveszteségeit a talaj hővezetési tényezője és vastagsága valamint a padlólemez átlagos hőmérsékletének és a padlószerkezet alatti aljzat, adott mélységben numerikus módszer segítségével meghatározott havi átlaghőmérsékletének függvényében számították.

2. A Magyarországon alkalmazott számítási módszerek

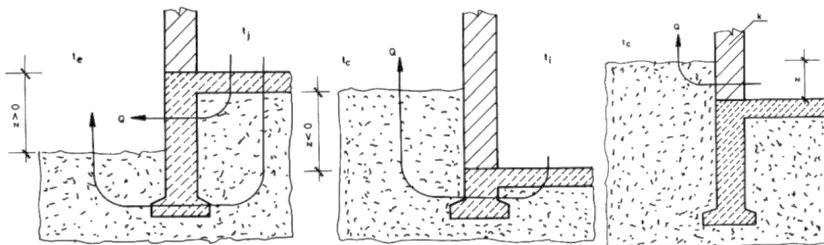
A nemzetközi publikációs adatbázisokban számos eljárás leírása található a talajjal érintkező szerkezetek hőtechnikai modellezésére, azonban a hazai gyakorlatban ezek az eljárások nem honosodtak meg. A szakemberek a padló-szerkezetek hőtechnikai modellezését döntő többségében az épületenergetikai rendeletben szereplő táblázatos módszer szerint, elvértve a hatályos EU szabványok szerint végzik.

2.1. Az épületenergetikai rendelet alapján történő számítás

A kétezres évek végéig az MSZ-04-140 jelzésű Magyar Népköztársaság Építészügyi Ágazati Szabványai sorozatban 1978 és 1991 között 3 alkalommal meg-

jelent, 1987-ig az Építésügyi és Városfejlesztési Minisztérium majd 1991-ben a Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium által kiadott szabványokat alkalmazták a tervezők. A szabványok négy fejezetből állnak, melyek önálló egységeket képeznek, ezek pedig az MSZ-04-140/1, mely a meghatározásokat és jelöléseket tartalmazza, az MSZ-04-140/2 mely a hőtechnikai méretezés eljárását szabványosítva, az MSZ-04-140/3 a fűtési hőszükséglet-, míg az MSZ-04-140/4 a hűtési hőterhelés-számítását tartalmazza. A padlószervezetek szempontjából a 3-as, majd később a 2-es jelű szabványok tartalmaznak számítási módszereket a talajjal érintkező szerkezetek hőveszteségeinek meghatározásához.

A szabványok 2012. január 15.-én visszavonásra kerültek, mely után a talajjal érintkező szerkezetek szabványos számításához kizárólag az MSZ EN ISO 13370:2008 szabványt lehetne alkalmazni. Azonban gyakorlatilag a visszavonás dátuma után is a régi MSZ szabvány számítási eljárását alkalmazzák a szakemberek, mivel a jelenleg hatályos 7/2006. TNM rendelet talajjal érintkező szerkezetekre vonatkozó számítási mellékletei egyszerűsített számítási esetben az MSZ-04-140/3 szabványban 1987-ben bemutatkozott táblázatokat tartalmazzák... azzal a különbséggel, hogy a 2012-es rendeletmódosítás során a táblázatos értékek felülvizsgálat nélkül kiegészítésre kerültek, és immáron hőszigetelt padlószervezetekre is tartalmaznak értékeket. A táblázat kiegészítését az MSZ EN ISO 10211 előírásainak betartása mellett véges differencia módszerrel végezte a szakértő stacioner hőtechnikai szimulációt készítve. A meglévő táblázathoz illeszkedést az anyagtulajdonságok nem szabványos felvétele segíthette, mellyel a régi táblázatos értékek tendenciáját az új értékek követni tudják.



2 ábra: Az MSZ-04-140/3 – 1987 szabvány talajjal érintkező szerkezeteire vonatkozó táblázatok magyarázó ábrája

A 80-as évekbeli szabványban és a jelenleg hatályos épületenergetikai rendeletben a padlón keresztüli hőveszteségeket a padlósínt és a talajsínt közötti magasságkülönbség és a padló szerkezet hővezetési tényezőjének függvényében egy táblázat adja meg. Az egyes értékek nem konkrét számértékek függvényében, hanem bizonyos tartományok közötti értékeként kereshetők ki a táblázatból, melyek két tizedes jegy pontossággal szerepelnek a táblázatban. A padló és falcsatlakozásnál kialakuló szerkezeti hőhíd miatti többlet-hőveszteségekkel a szabvány nem foglalkozik. Megfigyelhető továbbá a 2. ábrán, hogy a padló szerkezet és a falszerkezet is homogén réteggént van jelen, az alaptest ábrázolása pedig gyakorlatilag szimbolikus jelentőségű csupán.

A táblázatos értékek az ábrák tekintetében tehát állandó vastagságú homogén rétegek változó hővezetési ellenállás melletti értékei, mely a valóságban egy bizonyos vastagság után kivitelezhetetlenek. A táblázatos értékek állandósult állapot feltételezésével készültek, a hőtárolás hatásait pedig egy helyesbítő tényező segítségével vehettük figyelembe, amely azonban a TNM rendeletben nem kerül említésre. A visszavont szabványban található számítási eljárás leírásában egy fűtött pince hőveszteségeinek meghatározásához a pince falszerkezetének külső, talajjal érintkező kerülete menti összegzést ír elő. Ez ellentmond a 7/2006. TNM rendelet belső tér szemléletének, és nem is kerül említésre abban.

2.2. Az MSZ EN ISO 13370 szabvány szerinti számítás

Az előbbieken számos alkalommal esett utalás erre a 2008 óta hazánkban is érvényben lévő szabványra. A szabvány különféle talajjal érintkező szerkezetek esetére ad meg a talajjal érintkező szerkezetekre vonatkozó, egyszerűsített analitikus számítási eljárással számolható, állandósult állapotra vonatkozó hőátbocsátási tényezőket. A magyar rendelettel szemben az európai számítási eljárás nem vonalmenti hőátbocsátási tényezőre redukálja a padló hőveszteségeit, hanem figyelembe veszi a padló szerkezet térbeli kiterjedését is. Az eljárás során a talajok változó hővezetési tényezője megadható, azonban a hőkapacitással, lévén stacioner eljárás, ezúttal sem számolhatunk.

A szabvány mellékleteiben szerepelnek képletek az él-mentén vízszintes hőszigetelő sávval hőszigetelt talajon fekvő padló vonalmenti hőátbocsátási számítására, illetve a függőlegesen a lábazon elhelyezett hőszigetelés hatá-

sának figyelembevételére. A mellékletekben továbbá szerepel egy periodikus hőátbocsátási tényezők számítására vonatkozó eljárás, és a dinamikus szimulációs programok alkalmazásához történő virtuális réteg illesztése is. Ezen számítások viszont nem a közép-európai éghajlati viszonyokra kerültek kidolgozásra, így alkalmazásuk hazánkban külön adaptációk után lenne csak lehetséges.

2.3. A jelenlegi számítási eljárások hiányosságai

Összefoglalva az előzőekben ismertetett számítási módszerek hiányosságait, ezzel is indokolva egy új módszer létrehozásának szükségességét, kijelenthető, hogy a bemutatott módszerek állandósult állapotra vonatkoznak, mely a talajon fekvő szerkezetek esetében feltételezhetően nem ad megfelelő közelítést a talajok nagy hőtároló kapacitása és hőkésleltetése miatt.

A táblázatos, jelenleg érvényben lévő 7/2006. TNM rendelet bővített táblázata szerint a padló kerületénél az épület külső méreteit kellene alapul venni, míg a rendelet összes többi számításánál belső méretekkel kell dolgozni, ez következetlen megoldás. Ugyanígy következetlen, hogy a jelenlegi rendelet ragaszkodik a padló esetében a hővezetési ellenállás szerint megadott értékekhez, holott a követelmény-szinteknél a padló hőátbocsátási tényezőjét adják meg. Ennek az értéknek a reciprokának bevonása a számításba véleményem szerint egy felesleges lépés, a fizikai tartalom nem változik ettől, csak a forma. A táblázat értékei esetében semmilyen információ nem áll rendelkezésünkre, hogy az adott épületet milyen talajra építettük, holott a talajoknak eltérő hővezetési tényezőjük és térfogati hőkapacitás értékük van. Az eddigiekben ismertetett számítási módszerek esetében a padlószerkezet vastagsága sosem játszott szerepet, sem a padlószerkezet rétegeinek sorrendje, pedig a padlószerkezetek hővezetési ellenállása igen nehezen és csak egy bizonyos szintig növelhető a rétegvastagság növelése nélkül. Továbbá egyik számítási módszer sem veszi figyelembe, illetve említi meg az állandósult talajhőmérséklet hatását, mely hazánkban átlagosan 15-20 m mélységben található, közel állandó 9-10 °C hőmérsékletű, és hatása a talajjal érintkező szerkezetek hőtranszport folyamataiban is szerepet játszik.

Az említett hiányosságok kiküszöbölhetőek lennének egy olyan számítási módszer segítségével, ami a jelenlegi eljárások pozitív tulajdonságainak megtartása és a jelenlegi technikai fejlettség mellett (pl. az utóbbi harminc év

számítógépes fejlődése) megalkotható, értve ez alatt egy tranziens numerikus szimuláción alapuló módszer kifejlesztését, majd annak jelenlegi táblázatos formátumúvá való alakítását.

3. Padlószervezetek tranziens hőtechnikai modellezése

Az új számítási módszer alapja az izotróp szilárd testekre vonatkozó tranziens hővezetési feladat megoldása talajjal érintkező padlószervezeti kialakítások esetén. A megoldandó egyenletrendszer a következő:

$$\nabla(\lambda \cdot \nabla T) + Q = c_p \cdot \rho \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

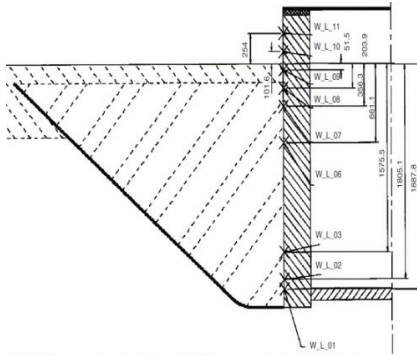
ahol: ∇ a vektoriális differenciál operátor, λ a hővezetési tényező, T az abszolút hőmérséklet, Q a belső hőfejlődés, c_p az állandó nyomáson vett fajlagos hőkapacitás, ρ a testsűrűség valamint t az idő.

A külső és belső peremeken a hőáramokat a szilárd test és az azzal érintkező levegő határán általában az adott anyag felületén értelmezett hőátadási tényezővel vagy a hatályos európai szabványoknak megfelelően a hőátadási tényező reciprokával jellemezve, R_s felületi ellenállásként írhatjuk fel, és a felület melletti hőmérséklet illetve felületre ható szélesség ismeretében definiálhatjuk (lásd 4. ábra).

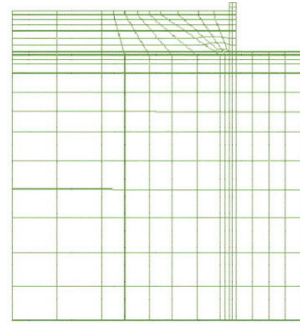
3.1. Szimulációs eljárás és szoftver megválasztása

A hőtechnikai feladat megoldásához a szakirodalomban már validált szimulációs technikát kerestem. Szempont volt továbbá a számítások optimalizált és gyors futtathatósága, az eredmények lekérdezhetősége, valamint az egy rendszeren belüli feladatmegoldás, mely a nagyszámú szimulációval járó kutatás során elengedhetetlennek bizonyul.

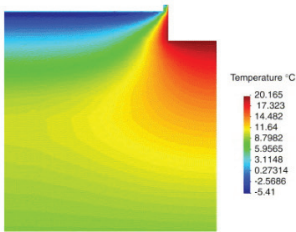
A lehetőségek áttekintése után a VEM-re esett a választásom, melynek validációját talajjal érintkező szerkezetek esetén a 3. ábrán is láthatjuk. A többdimenziós hőtechnikai szimuláció megfelelően és részletes megalkotott geometriai modell esetén, az anyagjellemzők pontos ismeretével és jól megválasztott külső és belső hőmérsékletfüggvények (mint peremfeltételek) alkalmazásakor az eredmények korrelálnak a mérési eredményekkel és igen közel tudnak kerülni a valós, mért értékekhez.



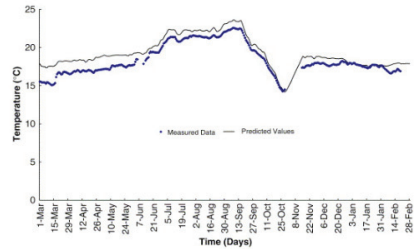
Kísérleti elrendezés (W_L-el jelölve a mérési pontokat)



A számítógépes modell végeleemes hálóbontása



Szimulált hőmérsékleteloszlás ábra a vizsgálat egy időpillanatában



A mért és simulált értékek kapcsolata, 1,571 m mélységben

3. ábra Talajjal érintkező pincefal és padló nagymodell kísérleten mért felületi hőmérsékleteinek és kétdimenziós dinamikus hőtechnikai szimuláció útján számított eredmények összehasonlítása egy éves periódus figyelembevételével [Rees et al. 2007]

A feladat számítógépes megoldásához ANSYS Workbench 14 szoftvert választottam. A szoftver előnye, hogy a teljes szimulációs procedúrát el lehet végezni benne. A program a modell geometriai megalkotásától és paraméterezésétől kezdve a peremfeltételek függvényekkel vagy adott időpillanatokra vonatkozó táblázatos értékeként történő megadását, a végeleemes háló optimalizált kialakítását a modellt felépítő anyagok definiálásával, az automatizált futtatásig és a tetszőleges időpillanatok közötti és tetszőleges helyen lekérdezett, időintegrált eredmények megkapásáig mind kezelni tudja.

3.2. Környezetfüggő peremfeltételek meghatározása

A tranziens hőtechnikai modellezéshez elengedhetetlen a vizsgált időszakra vonatkozó külső és belső hőmérséklet ismerete, változásának pontos leírása. A külső hőmérséklet regionális figyelembevétele, hazánk éghajlati zónákra való felosztása pedig összhangban van a 2010/31/EU irányelvvel. Az évi közép-

hőmérséklet alapján Magyarország túlnyomó többsége esetén az éves átlagos középhőmérséklet a 10–11 °C-os tartományba esik. A szimulációk szempontjából azonban nem csupán az évi, hanem a fűtési időny átlaghőmérsékletének is jelentős szerepe van. A vonatkozó adatok szerint a fűtési időny hónapjainak átlaghőmérséklete az országunk területén -5 °C és 5 °C-os hőmérsékleti tartományban mozog, az átlagos érték 3,6 °C körül alakul. A tranziens szimulációk futtatásához azonban a havi pontosságú adatok nem elegendők, a megfelelő pontosság érdekében legalább napi felbontású adatsorok szükségesek, melyet az OMSZ által publikált online hőmérsékleti adatsorokból tudunk előállítani. A hőmérsékletfüggvényhez viszont az éves hőingás mértékét is ismernünk kell, mely az Alföldön 24–25 °C –os, míg a magashegységeinkben 20 °C alatti, átlagosan pedig 22 °C körül mondható. A magyarországi külső átlagos napi hőmérsékletet visszaadó függvényt a 4. ábrán tüntettem fel, melyben X az év adott napját jelöli, T_m az éves átlagos középhőmérséklet, T_r pedig az éves átlagos hőingás fele. A peremfeltételek meghatározásához szükségünk van a szélesebség ismeretére is. Magyarország többségén a szélesebség 2,5 m/s és 3,5 m/s közötti, ezért ennek jellemzésére a 3 m/s-os értéket tartom megfelelőnek a vizsgálat szempontjából. Ez eltér az MSZ EN ISO 6946:2008 szabványban szereplő 4 m/s-tól.

3.3. A hőtechnikai modellezés menete

A nagyszámú szimulációk során a padló szerkezetet összetetten, az alkotó anyagokat különvéve vettem figyelembe. A hőszigetelő réteg (h) vastagságát az adott hőátbocsátási tényező (U_{padló}) függvényében a geometriai modellben futtatásról-futtatásra változtattam. A szimulációs modellben a padló hőszigetelése az alaplemez és a vízszigetelő réteg felett helyezkedett el. A padló szerkezeteket U_{padló} = 4 W/m²K és U_{padló} = 0,1 W/m²K közötti tartományban vizsgáltam, lefedve vele a hőszigetetlen padló szerkezetektől kezdve az alacsony energiaigényű épületek jelentősen hőszigetelt padló szerkezeit is. A padlók felső síkjának helyzete a külső oldali talaj szintjéhez képest (z) + 3 és -3 méter között változott, ezáltal a szimulációk fűtött pincepadló esetén is tartalmaznak értékeket.

A modell geometriája 3D-ben került megalkotásra, hogy a későbbiekben vizsgálhatóak legyenek a geometriai hatások is. A padló szerkezet belső hossza

egységesen 4 m, a lábazati fal 0,5 méter a talaj szintjétől. A külső fal 1,5 méter magasan került kialakításra a lábazattól. Pincefalat, ha geometriailag értelmezhető (negatív Z esetén) a padló alsó síkjától a talaj felső síkjáig modelleztem. A pincefalat homogén szerkezetként alakítottam ki, és hőátbocsátási tényezője éppen megfelel a TNM rendelet „költésgoptyimalizált” előírásainak.

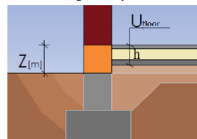
Az egyes szerkezetek anyagtulajdonságait és a peremfeltételeket a hatályos EN ISO szabványok szerint vettem fel. A külső hőmérsékletet az előbbiekből említett cosinus alapú függvénnyel közelítettem, míg az épületen belül konstans 20 °C parancsolt hőmérsékletet (T_i) modelleztem. A talajt a külső szinttől -15 m-ig modelleztem, ahol a Közép-Európában jellemző 9 °C fokos állandósult hőmérsékletet (T_{ground}) helyeztem el. A tranziens vége-seleemes szimuláció paramétereit a 4-es ábra szemlélteti.

A vége-seleemes hálót tetraéder elemekből állítottam össze, a padló- és fal-szerkezet csatlakozásánál automatikusan sűrítettem.

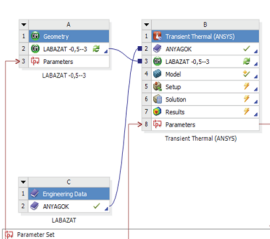
Material properties

Structure and material, Standard	Thickness [m]	Thermal conductivity λ [W/mK]	Volumetric heat capacity C_v [MJ/m ³ K]
Floor, concrete - EN ISO 10456:2007	0,06	1,35	2,00
Floor, insulation, EPS - EN ISO 10456:2007	parametrizé	0,04	0,03
Floor, reinforced concrete, 1% steel - EN ISO 10456:2007	0,10	2,30	2,30
Soil, sand and gravel - EN ISO 13370:2007	15,00	2,00	2,00
Soil, clay and silt - EN ISO 13370:2007	15,00	1,50	3,00
External walls (PTH 44 K + 2 cm lime plaster)	0,46	0,11	0,69
Plinth walls and basement walls (PTH 44 HS + 2 cm lime plaster)	0,46	0,14	0,61

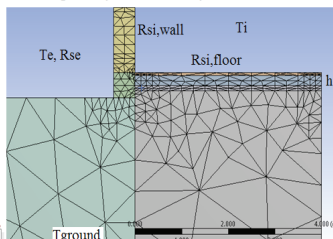
Parameters, geometry



Simulation set



Modeled geometry, mesh, boundary conditions



$$h = \lambda_{ins} \cdot \left(\frac{1}{U_{floor}} - R_{ei} - \frac{d_e}{\lambda_e} - \frac{d_{ext}}{\lambda_{ext}} \right) [m]$$

$$T_e = T_m + T_a \cdot \cos \left(2,9 + \frac{2 \cdot \pi \cdot X}{365} \right) [^{\circ}C]$$

$$T_i = 20 \text{ } ^{\circ}C$$

$$R_{se} = \frac{1}{4 + 4 \cdot v + e \cdot 4 \cdot \sigma \cdot (T_e + 273,15)^3}$$

$$R_{si} = \frac{1}{h_{ei} + e \cdot 4 \cdot \sigma \cdot (20 + 273,15)^3}$$

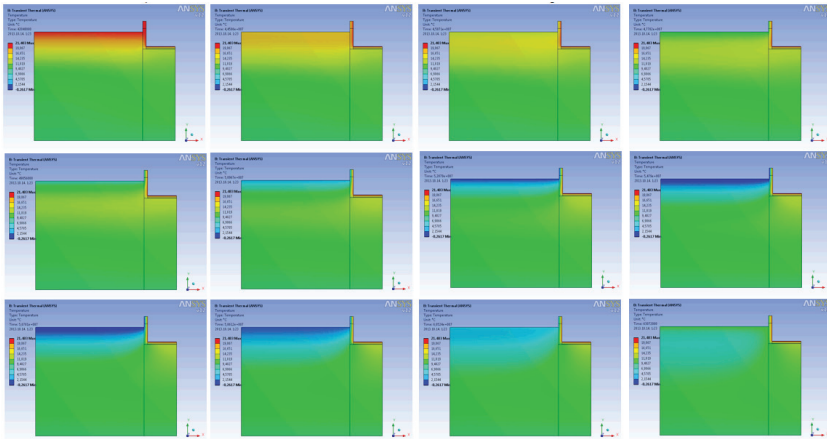
$$h_{ei} = \text{walls: } 5 \frac{W}{m^2K}, \text{ Floor: } 0,7 \frac{W}{m^2K}$$

$$T_{ground} = 9 \text{ } ^{\circ}C \text{ at } -15 \text{ m}$$

4. ábra A tranziens szimulációhoz szükséges tulajdonságok és paraméterek [Nagy 2014]

3.4. A szimulációs eredmények és összefüggéseik

A három évet napi bontásban kezelő szimulációk lefuttatása után az utolsó év eredményei táblázatosan kerültek feldolgozásra. Az 5. ábra havi bontásban szemlélteti a feldolgozott év hőmérséklet-eloszlását egy vizsgált szerkezeti kialakítás esetén.



5. ábra Hőmérséklet-eloszlások egy szimulált keresztmetszet esetében

Az 1. táblázat a talajjal érintkező padlószerkezet egyenértékű vonalmenti hőátbocsátási tényezőit tartalmazza $U_{\text{padló}}$ és a z függvényében, melyet az alábbi összefüggéssel határoztam meg a szimulációval kapott eredmények alapján:

$$\psi_t = \frac{\sum L_{3D,i}}{1 \text{ m} \cdot (T_i - T_e)} - A_{fal} \cdot U_{fal} - A_{pincefal} \cdot U_{pincefal} \quad (2)$$

ahol: $L_{3D,i}$ a napi átlagos hőáram értéke Wattban a belső oldali felületen mérve a standard fűtési időnyben. T_i és T_e a fűtési időny átlagos belső és külső hőmérséklete, U_{fal} és $U_{pincefal}$ egydimenziós stacioner állapotra számított hőátbocsátási tényezők. A szimulációkkal megkapott egyenértékű vonalmenti hőátbocsátási tényezőket az 1. táblázat foglalja össze.

Az 1-es táblázatban közölt eredményeket felhasználva, a padlószerkezetek vonalmenti hőátbocsátási tényezői az alábbi egyenletekkel is felírhatóak:

Ha $z < 0,25$ m, akkor:

$$\psi_t = (0,0168z^2 + 0,0947z + 0,3626) \cdot \ln(U_{\text{padló}}) + (0,0362z^2 + 0,2294z + 0,9978) \quad (3)$$

Ha $z \geq 0,25$ m, akkor:

$$\psi_t = 0,3027 \cdot z^{-0,216} \cdot \ln(U_{\text{padló}}) + 0,899 \cdot z^{-0,151} \quad (4)$$

Látható, hogy a szimulációs eredményeket közelítő egyenletek természetes logaritmikus összefüggésűek, melyek másodfokú polinom vagy exponenciális együtthatókkal rendelkeznek a padlószerkezet és a külső talaj szintjétől függő-

Talajjal érintkező padlószervezetek egyenértékű vonalmenti hőátbocsátási tényezői [W/mK]

z [m]	U _{padló} [W/m ² K]										
	4	2	1	0,75	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1
-3	0,92	0,82	0,64	0,57	0,47	0,41	0,34	0,30	0,25	0,20	0,13
-2	1,03	0,91	0,70	0,63	0,52	0,46	0,38	0,34	0,29	0,23	0,16
-1,5	1,10	0,96	0,75	0,67	0,55	0,49	0,41	0,36	0,31	0,25	0,18
-1	1,20	1,06	0,80	0,72	0,59	0,52	0,44	0,39	0,33	0,27	0,20
-0,75	1,25	1,10	0,84	0,75	0,61	0,54	0,46	0,41	0,35	0,28	0,21
-0,5	1,32	1,16	0,88	0,78	0,64	0,57	0,48	0,43	0,37	0,30	0,22
-0,25	1,40	1,22	0,93	0,82	0,67	0,60	0,50	0,45	0,38	0,31	0,24
0	1,51	1,31	0,98	0,87	0,71	0,63	0,53	0,47	0,40	0,33	0,25
0,25	1,65	1,42	1,05	0,93	0,77	0,68	0,55	0,49	0,42	0,35	0,26
0,5	1,51	1,31	1,00	0,89	0,74	0,65	0,55	0,50	0,43	0,36	0,27
0,75	1,41	1,23	0,96	0,85	0,72	0,64	0,53	0,47	0,42	0,34	0,26
1	1,34	1,18	0,92	0,82	0,68	0,61	0,52	0,46	0,40	0,33	0,26
1,5	1,23	1,09	0,87	0,78	0,65	0,58	0,50	0,44	0,39	0,32	0,25
2	1,15	1,02	0,82	0,74	0,62	0,56	0,48	0,43	0,37	0,31	0,24
3	1,04	0,92	0,76	0,68	0,58	0,52	0,45	0,41	0,36	0,30	0,23

1. táblázat Talajjal érintkező padlószervezetek egyenértékű vonalmenti hőátbocsátási tényezői

en. Az együtthatók konstansaiban további összefüggések fedezhetőek fel, melyeket felhasználva a konstansok a későbbiekben paraméterekkel felválthatóak lehetnek.

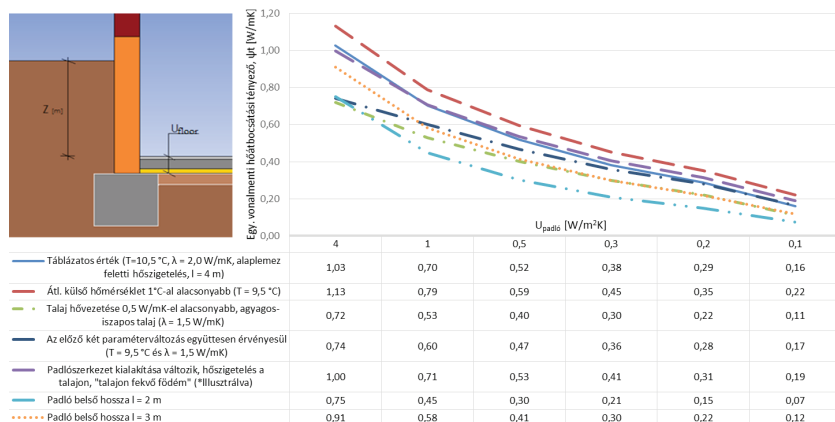
3.4. Padlószervezetek hővesztéseit befolyásoló paraméterek vizsgálata

A talajjal érintkező szerkezetek energiatudatos tervezését segíti elő, ha a szerkezetre gyakorolt külső és belső hőtechnikai hatásokat, a szerkezeti kialakítás megoldásainak hőtechnikai vonatkozásait ismerjük. A 6. ábrán az előbbiekben bemutatott szimulációs modelleken végzett paramétervizsgálatot láthatunk, melyet az ábrán szemléltetett $z = -2$ m mellett $z = 0$ m valamint $z = 0,5$ m esetén is elvégeztem, lefedve ezzel a leggyakrabban előforduló padló kialakítások mélységi tartományát.

A vizsgálatok alapján látható, hogy ha a külső átlagos középhőmérséklet 1 °C-al alacsonyabbra adódik, a „költségoptimalizált követelményértéknek éppen megfelelő padlószervezetek hővesztésegi akár 12-18 %-al növekednek. E

hatást gyakorlatilag kompenzálja, ha a padlószerkezet homokos talaj helyett jobb hőszigetelő képességű agyagos talajra épült. Érdekeség, hogy gyengén hőszigetelt ($U_{\text{padló}} = 1 \text{ W/m}^2\text{K}$) padlószerkezetek esetén a hőveszteségek akár 18-30 %-al is kisebbek lehetnek, ha a padlószerkezet alatt agyagos-iszapos altalaj található. Az altalaj hatása hőtechnikailag tehát nem elhanyagolható.

A vizsgálatok kimutatták továbbá, hogy ha a hőszigetelést az alaplemez alatt elhelyezve, ún. talajon fekvő födémet (slab-on-ground) készítünk, a hőveszteségek kismértékben növekednek a közbenső szigeteléssel ellátott padlókhöz képest. A hőtechnikai vizsgálatok mellett figyelembe véve az alsó szigetelésű padlószerkezetek kialakításának többletköltségeit, a padlószerkezetek költség- és energiatudatos kialakítására közbenső hőszigetelés elhelyezését javasolom.



6. ábra Változó paraméterek egyenértékű vonalmenti hőátbocsátási tényezőre gyakorolt hatásai, $z = -2 \text{ m}$ esetén

4. Összegzés

A kutatás keretében létrehozott új, padlószervezetek vonalmenti hőátbocsátási tényezőit tartalmazó táblázatot hoztam létre. A talajjal érintkező szerkezetek tranziens végeselemes szimulációi a 7/2006 TNM rendelet és a vonatkozó európai uniós szabványok figyelembevételével készültek, a jelenlegi számítási módszereknél a valóságot jobban közelítő geometriai- és épületfizikai modellek alapján. Az új számítási módszer figyelembe veszi a padló

hőátbocsátási tényezőjének változásakor a padlószerkezet vastagságának változását valamint a tranziens szimulációból eredően mind a szerkezetek, mind pedig a talaj hőtároló kapacitását. A kutatás során a hővesztéseket befolyásoló paraméterekre is sor került. Az új táblázat a jövőben segítheti a padlószerkezetek energiatudatos tervezését.

Hivatkozások

- Blomberg, T., Heat conduction in two and three dimensions, Computer Modelling of Building Physics Applications. Doctorate thesis, Lund University, Sweden. (1996)
- Claesson J., Hagentoft C.E., Heat loss to the ground from a building – I. General theory. Building and Environment 26, issue 2 (1991) 195-208.
- Delsante A.E., Theoretical calculation of the steady-state heat loss through a slab-on-grade floor. Building and Environment 23, issue 1 (1988) 11-17.
- Kusuda T. Bean J.W., Simplified methods for determining seasonal heat loss from uninsulated slab-on-grade floors. ASHRAE Transactions volume 90. part 1B (1984) 611-632.
- Kusuda T., Achenbach P.R., Numerical analysis of the thermal environment of occupied underground spaces with finite cover using a digital computer. ASHRAE Transactions volume 69, (1963) 439-452.
- Latta J.K., Boileau G.G., Heat losses from house basements. Canadian Builders 19, issue 10, (1969) 39-42.
- Nagy, B., Thermal calculation of ground contact structures: New methods based on parametrized transient finite element thermal modeling, International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering (ICCESEN 2014), 24-29 October, 2014 Antalya-Turkey
- Rees, S.W., Zhou, Z., Thomas, H.R., Ground heat transfer: A numerical simulation of a full-scale experiment. Building and Environment 42, issue 3 (2007) 1478-1488.

Történelmi ablakszerkezetek körül kialakuló hőhidak problémái és felújítási lehetőségei

Tömböly Cecília egyetemi tanársegéd
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Építőmérnöki Kar, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék
cili@met.bme.hu

DOI 10.18134/SZE-EET.2015.8

Kivonat

Az épületek felújítása során a régi formák és szerkezeti részletek megtartása elsődleges szempont. A hagyományos szerkezetű faablakok – amik egyben az épület szemei is – meghatározzák a házak, az utca- és városkép jellegét is. Az új épületenergetikai szabályozás mellett egyre jobban előtérbe kerül az energiatudatosság igénye is, ami nemzetközi és hazai viszonylatban egyaránt aktuális követelmény a XXI. századi energiaválság idején.

Kulcsszavak: energiatudatos tervezés, történelmi ablakszerkezetek, nyílászárók hőtechnikai teljesítménye, nyílászárók hőszigetelési követelménye

1. Bevezetés

Budapest és a vidéki városok belső területeinek épületállománya nagymértékben a századfordulón vagy még korábban épült, jelentős részük impozáns homlokzatú épület, lakóház. Ezek mellett az ország területén sok, különböző építészeti korszakból származó kastély, palota, udvarház és kúria maradt fenn. A KSH 2003. évi adatközlése alapján Magyarország lakásállománya az épület jellege és az építés időpontja szerint: 10%-a 1989 után, 17%-a 1980-89 között, 23%-a 1970-79 között, 15%-a 1960-69 között, 12% 1945-58 között, 12,5%-a

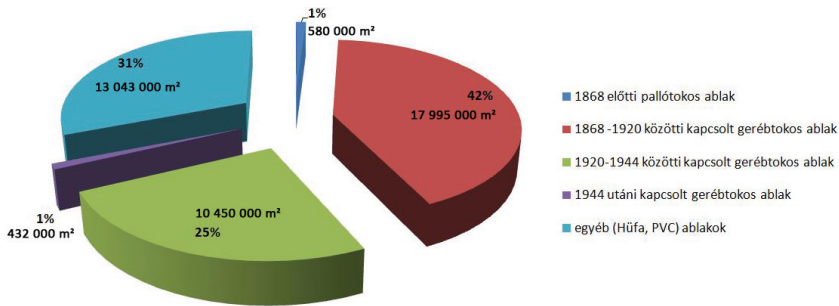
1920-45 között, és 10,5%-a 1920 előtt épült. Ez a közel egymillió 1945 előtt épült szerkezet mára már történelmivé vált, amiknek rekonstrukciója során kiemelt feladat a nyílászáró szerkezeteinek értéknövelő felújítása, a gyakran jó állapotban megmaradt belső bélés-borításos felületeinek megőrzésével.

A régi formák és kialakítások helyett sajnos tömegével jelennek meg az új, jellegtelen ablakszerkezetek. Az ablakoknak elsősorban a fény beeresztését és a levegő cseréjét kell biztosítaniuk, másodsorban hőtechnikai és akusztikai szempontokat is ki kell elégíteniük. Mivel szerkezetileg összetett és az időjárás igénybevételeknek egyik legkritikusabban kitett felület, ezért a rehabilitációjuk során körültekintően kell eljárni. A tulajdonosoknak tisztábban kell lenniük azazal, hogy ugyan a rekonstrukció általában hosszabb ideig tart, de a megtérülési idő lényegesen rövidebb, mint egy új szerkezet beépítése.[1]

Sajnos, az ismeretek hiánya miatt a történelmi ablakok megtartása és felújítása háttérbe szorult, mivel a gyártók előnyösnek tűnő tulajdonságokkal próbálják elhitetni, hogy az új termékek mindenesetben jobbak és korszerűbbek. Ezeket az ablakszerkezeteket gyakran elbontják és műanyagra cserélik, pedig legtöbb esetben felújíthatók, megmenthetők lennének. Ezzel a meg gondolatlan cserével komoly kárt okoznak a pótolhatatlan történelmi épület karakterében, valamint nagy mennyiségű hulladékot termelnek, amit a fenntarthatóság szempontjából fontos lenne hasznosítani a környezetszennyezés elkerülése végett. [2]

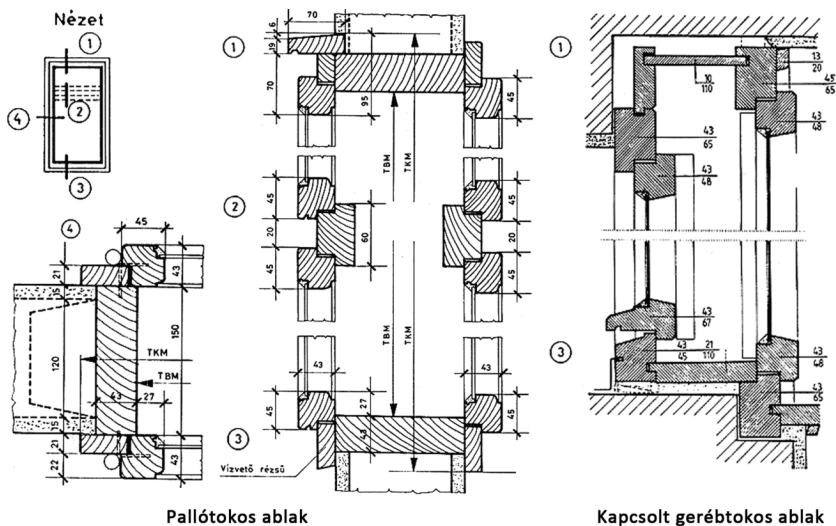
2. A történelmi ablak

A faablakok fejlődéstörténete több száz évre tekint vissza. A barokk korban általában egyrétegű ablakok voltak. A klasszicizmus ideje alatt már megjelentek az ablakkettőzések, a kifelé-befelé nyíló ablakokkal. Kb. 1855-től fokozatosan megjelentek a kapcsolt gerébtokos befelé-befelé nyíló ablakok, azonban csak a historizmusban fejlesztették ezt a kialakítást tökéletességig. A szecesszióban a technikai tudás mellett a formai változatosságnak sem volt már határa (1. diagram). Megállapíthatjuk tehát, hogy ezek az ablakok stílushordozók, azaz egyes építészeti stílusokhoz köthetők. Az elterjedt méretrend, osztás és formai kialakítások ismeretében 10-20 éves pontossággal meghatározható egy adott épület ablakainak kora.



1. diagram Felújításra váró ablakszerkezet mennyiség típus szerinti megoszlása [3]

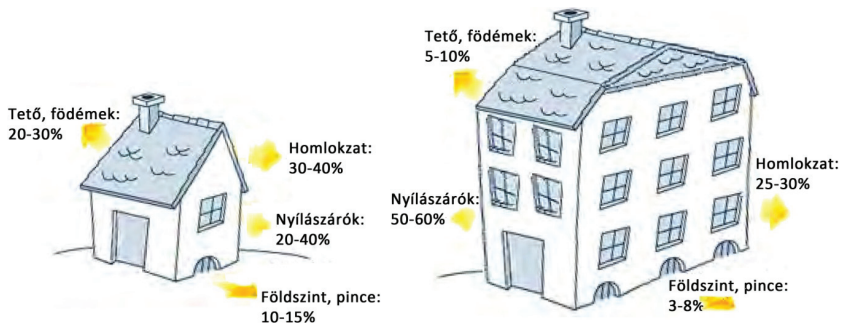
A hazánkban előforduló történelmi ablakok tehát főként pallótokos és kapcsolt gerébtokos szerkezetekre oszthatók (1. ábra). A pallótokos ablakok általában műemléki vagy műemlék jellegű épületeken találhatóak, ahol az ablakot minél formahűbben kell megtartani és felújítani. A kapcsolt gerébtokos ablakok jelentős számban találhatóak Budapesten és más nagyvárosokban, ahol a történelmi városkép szerves részét képezik. Fontos lenne tehát kifejleszteni egy olyan felújítási technológiát, ami megtartja a régi formákat és szerkezeti kialakításokat, és egyben az új műszaki követelményeket is kielégíti.



1. ábra Pallótokos és kapcsolt gerébtokos ablak részletrajzi és járatos méretei [4]

3. A nyílászárók hőtechnikai teljesítményének meghatározása

Az épületek rekonstrukciója során a homlokzat felületeinek hőveszteség csökkentése a szerkezeti hőhidak előtérbe kerülését vonja maga után. A külső falak hőszigeteléskor a nyílásáthidalások hőhídjai ellentétes viselkedést mutatnak, mértékük megnövekszik. Ezért hőtechnikai szempontból fontos, hogy az épületeket teljes egészében vizsgáljuk, nemcsak kiragadott részletek alapján.



2. ábra Épületszerkezetek energiavesztés-arányai az épület típusa szerint [5]

Általános esetben a nyílászárók felületei kisebb ellenállást mutatnak a hőáramlással szemben, mint az épület többi része. A szerkezetek hőtechnikai méretezésénél a számítás egyszerűsítése céljából a hőhidak miatti többlet hőveszteséget a vonalmenti hőátbocsátási tényező alkalmazásával számíthatjuk ki, így az eredő hőátbocsátási tényező az ablakos falra:

$$U_e = \frac{A_{fal} U_{rig} + \sum_j l_j \psi_j}{A} \quad (1)$$

Egyrétegű nyílászárók hőátbocsátási tényezőjének – $U_{w,1}$ – megállapítására az alábbi összefüggés érvényes (3. ábra):

$$U_{w,1} = \frac{A_U U_U + A_K U_K + l_U \psi_U}{A_U + A_K} \quad (2)$$

ahol:

$U_{w,1}$ [W/m²K] a teljes ablakszerkezet hőátbocsátási tényezője

A_U [m²] az üvegezés felülete (a belső, illetve külső látható üvegfelületek közül a kisebb)

U_U [W/m²K] az üveg hőátbocsátási tényezője

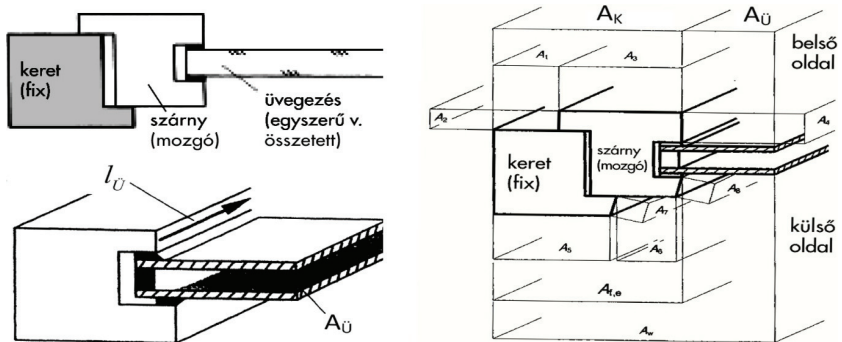
A_K [m²] a keret (tok és szárny) felülete (csakott állapotban a belső, illetve külső oldalról nézve a keret és a szárny együttes szerkezetének

közös vetülete közül a nagyobb területi érték)

U_K [W/m²K] a keret hőátbocsátási tényezője

$l_{\dot{U}}$ [m] az üvegeépítés kerülete (belső, illetve külső kerületek közül a nagyobb)

$\Psi_{\dot{U}}$ [W/mK] az üvegeépítés vonalmenti hőátbocsátási tényezője



3. ábra Különböző felületek meghatározása [6]

A kétrétegű nyílászárók esetén – ide tartoznak a kapcsolt gerébtokos nyílászárók is – a külső és belső szerkezetet, valamint a közbelső légréteg hatását is figyelembe kell venni. A transzmissziós hőátbocsátási tényező – $U_{w,2}$ – összefüggése:

$$U_{w,2} = \frac{1}{\frac{1}{U_{w,k}} - R_k + R_{\text{légréteg}} - R_b + \frac{1}{U_{w,b}}} \quad (3)$$

ahol:

$U_{w,2}$ [W/m²K] a teljes ablakszerkezet hőátbocsátási tényezője

$U_{w,k}$ [W/m²K] a külső nyílászáró hőátbocsátási tényezője

$U_{w,b}$ [W/m²K] a belső nyílászáró hőátbocsátási tényezője

$R_k; R_b$ [m²K/W] belső illetve a külső ablakréteg felületi hőátadási ellenállása, a másik réteget figyelmen kívül hagyva (a szerkezeteket önállóan alkalmazva ezekkel kellene számolni)

$R_{\text{légréteg}}$ [m²K/W] a két nyílászáró által közrezárt légréteg hőátbocsátási ellenállása

Egy konkrét szerkezetre való számítás elvégzése során a pontos eredmény elérése érdekében a következő feltételeket kell figyelembe venni:

- pontos geometriai adatfelvétel
- műszaki jellemzők helyes meghatározása a fellelhető szakirodalom alapján.

4. A történelmi nyílászárók értéknövelő felújításának lehetőségei

A hőtechnikai követelményérték (ami a hőátbocsátási tényező megkívánt értéke) az ablakokkal és erkélyajtókkal szemben 1979 és 1991 között „k” ≤ 3,0 [W/m²K] volt. Ezt az előírt követelményt egy újszerű állapotú, jól záródó kapcsolt gerébtokos ablak, vagy egyesített szárnyú ablak képes teljesíteni. Ez az érték a filtráció hatásának figyelembe vételével leromolhat az elhasználódottság mértékének függvényében. A filtráció csökkentésével, az ablak tökéletes légzáróvá tételével sem lehet azonban ennél az értéknél jobbat elérni. 1991 és 2006 között a nyílászárók hőátbocsátási tényezőjének kötelező értéke nem volt közvetlen módon meghatározva. 2006. szeptemberétől a 7/2006. (V.24.) TNM rendelet ismét kötelező követelményértékeket ír elő a nyílászárók hőátbocsátási tényezőjére, melynek értékeit a következő táblázat foglalja össze (1. táblázat):

A nyílászárók típusa	U _{max} [W/m ² K]
Homlokzati üvegezett nyílászáró (fa vagy PVC keretszerkezettel)	1,60
Homlokzati üvegezett nyílászáró (fém keretszerkezettel)	2,00
Homlokzati üvegezett nyílászáró, ha névleges felülete kisebb, mint 0,5 m ²	2,50
Homlokzati üvegfal	1,50

1. táblázat: Különböző típusú nyílászárók hőátbocsátási tényezője [7]

A történelmi nyílászárók felújítás során tehát az a cél, hogy teljesüljön az új energetikai rendelet követelménye, miszerint a fakeretes üvegezett homlokzati nyílászárók hőátbocsátási tényezője: U_w < 1,6 W/m²K.

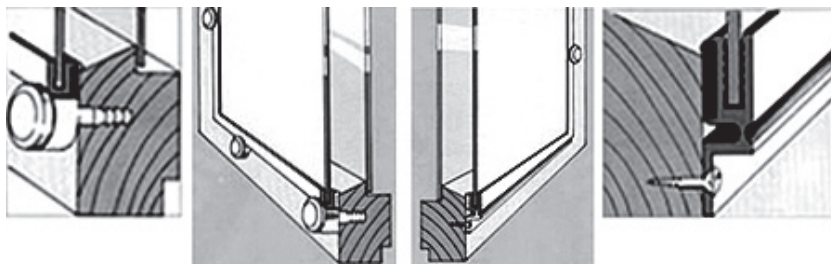
Látható, hogy ezek a követelményértékek meglévő ablakszerkezeteinknél csupán a légzárás növelésével nem érhetők el. Komolyabb beavatkozásokra van szükség tehát nem csupán a csatlakozásoknál, illesztéseknél, hanem az ablak- vagy erkélyajtó szerkezet lényegi kialakításánál is.

Egy kétrétegű sima üvegezésű hagyományos ablakszerkezetnek – ha nincs megvetemedve és a tömítése is jó állapotú – a hőátbocsátási tényezője árnyékolás (spalletta vagy redőny) nélkül 2,2 W/m²K körüli. Ez nagymértékben függ attól, hogy mekkora az üvegezés felülete a fakerethez képest, hiszen maga a fakeret nagyon jó hőszigetelésű. Így egy 50% üveg/keret aránnyal rendelkező ablak U_w értéke: 2,05 W/m²K, egy 65%-nál nagyobb üvegezésűé pedig 2,35 W/m²K [2]. Emellett nagy jelentősége van még a filtrációnak is, azaz a réseken át távozó levegővel járó hővesztésnek. Sok esetben ez lényegesebb a hőszigetelő

üvegezésnél, ezért fontos, hogy tömítsük az ütközéseket a nagy filtráció elkerülése érdekében. Az értéknövelő felújítás gyakorlati megvalósításának lehetséges módszerei a következők:

4.1. Kiegészítő üvegtábla felszerelése (4. ábra)

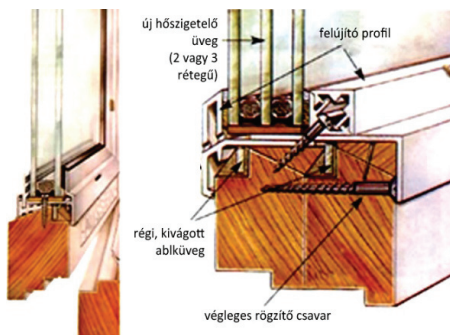
A meglévő üvegezett szárnyra egy kiegészítő üvegtábla felszerelése célszerű megoldás lehet. Ennek elengedhetetlen feltétele a meglévő szárny statikailag megfelelő állapota, esetleg szükség esetén megerősítése a többlet teher elviselésének céljából.



4. ábra Kiegészítő üvegtábla felszerelése meglévő ablakszárnyra pontonkénti rögzítéssel és vonalmenti megfogással (merevebb) [7]

4.2. Meglévő szárny átalakítása (5. ábra)

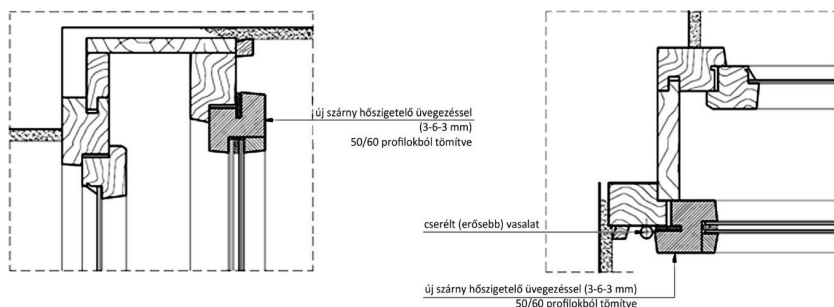
A meglévő ablakszárnyak átalakítása 2 vagy 3 rétegű hőszigetelő üvegezés fogadására is alkalmassá teheti a nyílászáró szerkezetet. Ennek szintén feltétele, hogy a meglévő szárny statikai megfeleljen, illetve szükség esetén megerősíthető legyen a többlet teher elviseléséhez.



5. ábra Meglévő ablakszárny átalakítása, esetleges megerősítése 2, illetve 3 rétegű hőszigetelő üvegezés beépítése esetén [7]

4.3. Meglévő tokszerkezethez új szárny készítése, hőszigetelő üvegezéssel

A leggyakrabban előforduló megoldás a kapcsolt gerébtokos ablakok esetén a belső szárnyak üvegeinek hőszigetelő üvegezésre való cseréje. Ebben az esetben azonban a problémát az üvegezés megnövekedő súlya jelenti. Többnyire csak korlátozott üvegezési rétegvastagságok (pl. 3–6–3 mm) és az eredetinél vastagabb, de a ma szokásosnál karcsúbb szárnyprofilok kialakítása vezethet a kompromisszumos megoldáshoz. A felfüggesztő vasalatok megerősítéséről is gondoskodni kell, a nagyobb méretű ablakok esetében a tok megerősítésére is szükség lehet (6. ábra). Hasonló, de talán még jobban kombinálható megoldások alakíthatók ki pallótokos ablakoknál.



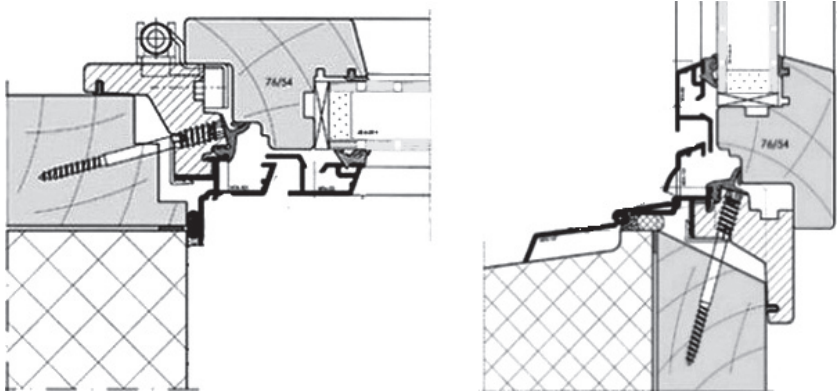
6. ábra Kapcsolt gerébtokos ablak felújítása belső oldali szárnycserével és hőszigetelő üvegezéssel [7]

4.4. Megmaradó tokszerkezethez új tokrátét és szárny készítése, hőszigetelő üvegezéssel

Abban az esetben, ha a többlakásos épületek nyílászárói nem egy időben kerülnek felújításra, akkor a belső szárnyak üvegcsereje vagy átalakítása jelenti az egyetlen elfogadható korszerűsítési módot (7. ábra). Ez az elméleti megoldásoknak megfelel. A külső szerkezet így eredeti állapotában megmaradhat. Kérdésként merül viszont fel, hogy mekkora legyen az új belső ablakszárny hőátbocsátási tényezője, és azt hogyan alakítsuk ki.

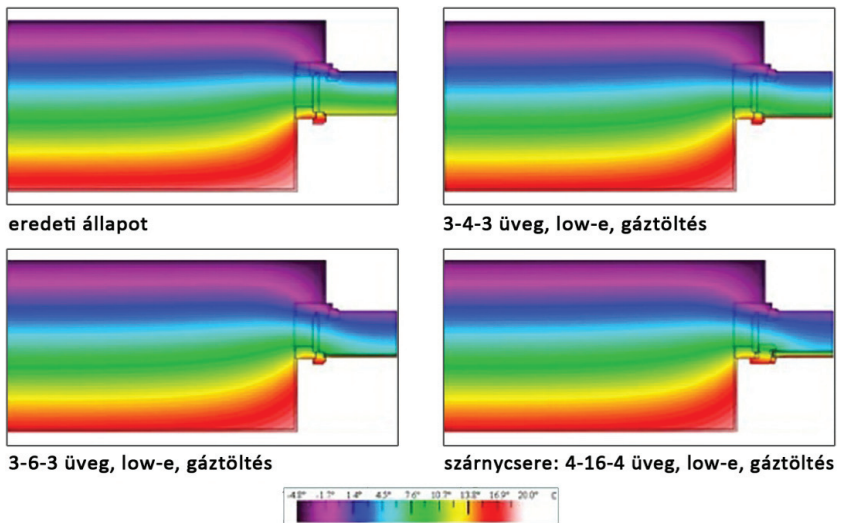
4.5. Low-e üvegek

Abban az esetben, ha a meglévő ablak teljes megtartása mellett csak a belső szárnyak üvegezését cseréljük ki keménybevonatos low-e (alacsony sugárzású,



7. ábra Bentmaradó tokszerkezetre új tokrátét+szárny szerelése hőszigetelő üvegezéssel [7]

láthatatlan, vékony ezüstréteggel ellátott) üvegre, és tömítjük a belső szárnyat az ütközésnél, jelentősen csökkentjük a két üveg közötti sugárzásos hőveszteséget. A low-e üvegeknek a keménybevonatos (pirolitikus) változata nem sérülékeny, ezért hagyományosan egyrétegűként is alkalmazható és így az eredeti szárny-szerkezet nem igényel változtatást. Az új ablak U_w értéke 1,8–1,9 W/m^2K körüli lesz, ami majdnem teljesíti az előírt 1,6 W/m^2K -es határértéket. Ebben a legkevésbé költséges esetben nem alakítjuk át az ablakot, megjelenésén sem változtatunk.



8. ábra Kapcsolt gerébtokos ablak felújítási változatainak izotermái [9]

Nyugat-Európában kifejlesztett 10-14 mm összvastagságú (3-4-3; 3-7-4) Histoglass D10, D14 üvegezéssel még hatékonyabb U_w : 1,3–1,5 W/m²K eredményt érhetünk el (5. ábra). Ez ugyan minimális mértékű szárnyvastagítást eredményez, de a meglévő ablakok szárnyába is beépíthető, hiszen a nyílószárny üveghornjának mérete általában 10–15 mm. A további javítás elérése érdekében a belső szárny jelentős megerősítésével, 4-16-4-es üvegezés beépítésével már U_w : 0,9–1,0 W/m²K értéket is kaphatunk (8. ábra).

Épületszerkezeti és esztétikai megfontolásból is ezek a legkedvezőbb kialakítások. Amellett, hogy megmarad a teljes eredeti ablakszerkezet, a külső szárny további hőszigetelést ad. Így a három réteg üveg – a külső üvegezés és a belső dupla réteg – már számottevően jobb hőátbocsátási tényezővel rendelkezik, mint egy tipikus új egyrétegű ablak.

4.6. Fokozott hőszigetelési követelmény

Abban az esetben, ha a meglévő kétrétegű ablakok felújítása során a külső és a belső szárnyba is gáztöltéses hőszigetelő üveget helyezünk el, akkor megközelíthetjük a teljes ablakszerkezettel az $U_w < 0,8$ W/m²K értéket, ami a passzívházak ablakszerkezeteire előírt hőszigetelési határérték. Néhány eset kivételével az igényes légzárás is megoldható a gumiprofilok ütköző felületekbe való elhelyezésével. Ez azonban a belső terekben teljes légzárást eredményezhet, ami mellett meg kell oldani a helyiségek szellőzését. Passzívházaknál a hővisszanyeréses szellőzést eredményesen alkalmazzák.

5. Összegzés

Fontos azonban kiemelni, hogy az ablakok ilyen mértékű felújítása csak akkor célravezető, ha az épület falazatát is fokozottan hőszigetelik. Az épületek energiafelhasználása szempontjából fontos az épületek egészét vizsgálni, beleértve a födémeket, a padlókat és a falakat is, hiszen ezek szintén jelentős lehűlő felületek (2. ábra). Történeti épületek esetén gyakran nem oldható meg a homlokzatok külső, utólagos hőszigetelése, ugyanis ez a homlokzati architektúra eltűnésével járna együtt (9. ábra). Minden esetben mérlegelni kell a történelmi ablakok felújításának és cseréjének összes lehetőségét, hiszen ezeknek a korabeli épületek megjelenésének megtartása elsődleges feladatunk.



9. ábra Histoglass D10 üvegezés – The Gatehouse – Hope Valley [10]

Források

- [1] Paul Trudeau & Cambridge Historical Commission – Guidelines for Preservation and Replacement of Historic Wood Windows in Cambridge – 2009. május – www.cambridgema.gov/historic
- [2] Lőrinczi Zsuzsa – Történelmi ablakaink védelmében – Mielőtt ablakot cserélne – www.ablak-profilok.hu
- [3] Szűts László – Történelmi ablakszerkezetek hőtechnikai jellemzőinek vizsgálata
- [4] http://www.carpenter.hu/muemlek_jellegu_nyilaszarok
- [5] Dr. Széll Mária – Épületek Rekonstrukciós Tervezése – Transzparens homlokzati szerkezetek energia-hatékony, fenntartható felújítása
- [6] Magyar Asztalos és Faipar 2004/6
- [7] Tóth Elek: Ablak – Ember 2. rész, Ajtó-ablak-kapu spektrum, 2006., Spektrum kiadó, Budapest
- [8] Dr. Széll Mária – Kétrétegű ablakok felújítása – Magyar Építéstechnika 2009/9.
- [9] Bakonyi Dániel – Dr. Becker Gábor – Történelmi ablakok az új követelmények tükrében
- [10] Histoglass Glazing Systems The Gatehouse – <http://www.histoglass.co.uk/content/Project-Details/207>

Barokk fedélszék és boltozat szerkezeti összefüggései – Gondolatok néhány kisalföldi templom szerkezeti felújítása kapcsán

Dr. Veöreös András egyetemi docens

Széchenyi István Egyetem, Építészettörténeti és Városépítési Tanszék
andras.veoreos@gmail.com

DOI 10.18134/SZE-EET.2015.9

A történeti műszaki tudományok közül az építészet az egyetlen, melyben a szigorú technikai jellemzőkön kívül az esztétikai, művészeti szempontok is hangsúlyos szerephez jutnak. Az építészeti tér létrehozásának célja a benne folyó tevékenység végzésére alkalmas és ahhoz méltó mesterséges környezet megteremtése. A tereket minden korszak – miként a jelenkori építészet is – a saját műszaki fejlettségi színvonalán, a rendelkezésre álló építőanyagokból, az ismert technikával alkotja meg. Valószínűsíthetjük tehát, hogy a napjainkig fennálló történeti épületek az egyszerűsége és olcsóságra törekvő optimális műszaki megoldás és a funkciónak megfelelő legrepresentatívabb téralakítás közötti tervezői mérlegelés eredményeképpen jöttek létre. A terek, térrendszerek időben folyamatos változása a társadalom világgépének, a belső terek iránti igényének állandó alakulásából következik, de ez a folyamat nem mehetne végbe a műszaki megoldások folyamatos fejlődése nélkül. Jelen tanulmány célja az érett barokk térstruktúra és az azt megvalósító szerkezeti rendszer közötti összefüggések bemutatása.

Meglepő tény, hogy a hazánkban rendkívül gazdag, műemlékvédelemmel foglalkozó szakirodalom milyen kevés figyelmet szentel a történeti tartószervezetek, ezen belül is a leglátványosabb, nyilvánvalóan műemléki értékkel bíró

történeti szerkezetek, a boltozatok helyreállításának¹. Ez minden bizonnyal köszönhető annak, hogy a szerkezet-helyreállítás a legtöbb esetben láthatatlan marad, megbújik a látványosabb munkák (építészeti helyreállítás, homlokzat-felújítások, restaurálások) mögött. Ugyanakkor fel kell hívni a figyelmet arra is, hogy a műemléki elvek alkalmazása sajnálatos módon éppen a tartószerkezeti beavatkozások esetében ütközik a legnagyobb akadályokba². A mérnöki munkát szabályozó előírások, szabványok mechanikus alkalmazása lehetetlen helyzetbe hozza a történeti tartószerkezeteket, melyek nyilvánvalóan nem tudnak megfelelni a mai előírásoknak. Az a tény pedig, hogy egy szerkezet „már kétszáz éve áll” nehezen állja meg a helyét napjaink paragrafusok által meghatározott, felelősséget hárító mérnöki világában.

A hazai műemlékállományban jelentős hányadot képviselnek az egyházi műemlékek, ezen belül is elkülöníthetők a – darabszámra talán a legnagyobb csoportot jelentő – falusi plébániatemplomok, melyek napjaink vidékfejlesztési, turisztikai fejlesztési, egyház-támogatási törekvéseinek köszönhetően örvendetes módon nagy számban esnek át felújításon. A templomok felújításakor a legnagyobb hangsúly a homlokzatok felújítására, a tető- és vízvezető-rendszer javítására, illetve a belső helyreállításra esik. Ezek a munkák azonban nem végezhetőek el abban az esetben, ha az épület teherhordó-szerkezete (boltozata) sérült. Ilyenkor a többi épületelem védelme érdekében minden esetben a szerkezeti hibát kell először, sokszor jelentős anyagi ráfordítással kijavítani. Tapasztalataim alapján, amíg a társművészeti alkotások restaurálása esetén nyilvánvaló (és a jelenlegi szabályozás szerint előírás) a műemléki gyakorlattal és jogosultsággal rendelkező szakember bevonása, addig a szerkezet-megerősíté-

1 Az építészettörténeti szakirodalom elvételre foglalkozik csak tartószerkezeti kérdésekkel, többnyire megelégszik az alkalmazott tartószerkezetek megnevezésével. A történeti tartószerkezetek irodalma több figyelmet szentel a boltozatoknak (a teljesség igénye nélkül: Andorné Tóbiás Judit 1974, Szabó Bálint 2005, Szabó Bálint 2012, Déry Attila 2002), és rendkívül tanulságosak a történeti szerkezeteket még élő szerkezetként bemutató források (Sobó Jenő 1998). A tartószerkezet helyreállításokkal kapcsolatban a hetvenes években jelent meg egy cikksorozat Urbán István tollából a Műemlékvédelem folyóirat hasábjain, azóta csupán néhány írás foglalkozik szerkezet-helyreállításokkal.

2 A tartószerkezet-megerősítések és a műemléki elvek kapcsolatáról lásd Gilyén Nándor 1995.

sek esetében sokszor találkozunk rutinszerű, a történeti szerkezet erőjátékát és műemléki értékét figyelmen kívül hagyó megoldásokkal, vagy legalábbis megoldási javaslatokkal³.

Térrendszer fejlődése a barokk korban⁴

A XVII. században kialakuló, Magyarországon a XVIII. században fénykorát élő barokk stílust a római egyház gazdagságot, pompát bemutató ellenreformációs törekvése hívja életre. A katolikus egyházon kívül a szintén pompakedvelő főúri arisztokrácia a stílus pártfogója. A fentiekből következik a barokk épületek túldíszítettsége. Az építészeti tér megformáltsága, a terek kapcsolata, a stukkódísz, a szobrok, a falfestmények, sőt a térben zajló események, a zene együttesen, egymás hatását erősítve, ösztönművészeti alkotásként (Gesamtkunstwerk) hat a belépő emberre.

A barokk templomok térképzésének célja a szemlélő elkápráztatása. Ennek az egyik legfontosabb eszköze az elbizonytalanítás: a tér első pillantásra átte-

3 2015. tavaszán, rendkívül hosszú előkészítő időszak után került sor a vadosfai (Győr-Ménfőcsanak-Sopron megye) plébániatemplom szerkezeti megerősítésére. A környékbeli szemtanúk elmondása alapján a templom boltozatán a repedések a néhány évtizeddel ezelőtti tetőfedés cseréje után jelentkeztek. Feltételezhető, hogy a cserépfedés cseréjekor az összes cserepet egyszerre ledobták a tetőről, és az ilyen módon a függőleges leterhelő erőkomponens hiányában külpontossá váló nyomóerők hatására mozdultak el a boltozati válpontok. A felmérés nem tartalmazta a boltozatok feszítőműveit, így értelemszerűen nem került sor ezek statikai vizsgálatára sem. Az első helyreállítási tervek a teljes homlokzaton körbefutó vasbeton koszorú bevezetését, majd következő változatban a cseh-boltozat hevederíveinek intradosán elhelyezendő vasalást javasolták. Ezek a műszaki megoldások egyrészt műemléki szempontból nem voltak megfelelőek: az első esetben a homlokzat, illetve a falszerkezet szenvedett volna túlzott károsodást, a második esetben a hevederív kifestése semmisült volna meg; másrészt szerkezeti szempontból is feleslegesnek tűntek. Végül megoldásként a hevederív meglévő, de az idők során tönkrement feszítőművének a helyére beépített acélszerkezet készült. Két darabból a helyszínen összeépített acélgerenda került a hevederív fölé. A hevederívbe 45 fokos szögben mintegy négy méter hosszú furat készült, ebbe helyezték el az acél vonórudakat. A vonórudak az acélgerenda alsó síkjára hegesztett rögzítő fülekhez csavarral kapcsolódnak, alsó végül a boltozati válpont közelében a homlokzati falba vésett és a vakolat alatt elrejtett zártszelvény falkötő vashoz utólag is tovább feszíthető csavaros kapcsolattal került kialakításra.

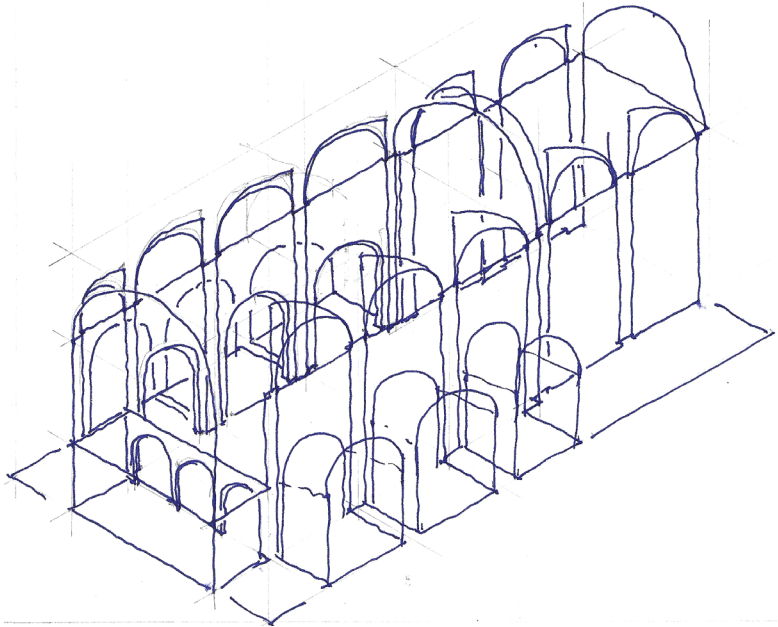
4 A térrendszerek fejlődését Szentkirályi Zoltán 1986, illetve Andorné Tóbiás Judit 1974, Farbaky Péter 1982, Guzsik Tamás szakrális, Marosi Ernő 1992, Levárdy Ferenc 1982 és Veöreös András 2006 alapján tekintjük át.

kinthetetlen formája, a hosszanti és függőleges tértengelyek összekapcsolása, az izgalmas átlátások, a boltozat valós- vagy illuzionisztikus festés révén való megnyitása az ég felé, a fény-árnyék hatása, az ellenfény által keltett sejtelmes kontrasztok bizonytalanság érzetét keltik a belépőben és arra készítik, hogy járja körbe az épületet. A teljes barokk épületbelső megismerése, megértése csak a végigjárás, a mozgás során lehetséges.

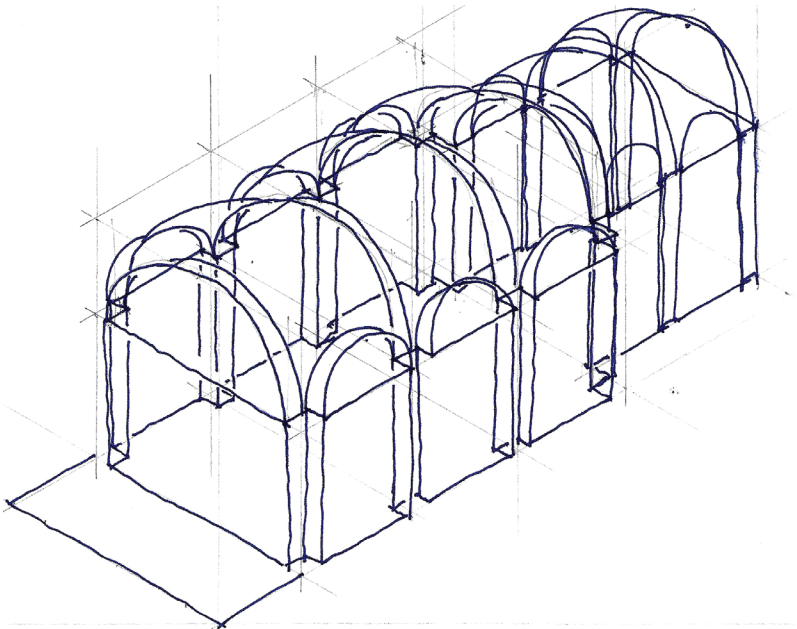
A téralakítást meghatározó alapelv: a hosszanti (vízszintes tengelyű) és centrális (függőleges tengelyű) irányultságú terek összekapcsolása. Három alaptípus alakul ki: hosszanti és centrális tér egymás mellé helyezése; centrális terek sorolása; önmagában centrális tér megnyújtása az egyik tengely mentén. Mindhárom típusnál fő rendező elv a tengely, a szimmetria.

Magyarországon a barokk templomterek fejlődésének gerincét a szerzetesi templomok jelentik, erre fűződik fel a néhány püspöki székesegyház építése, és ennek eredményeit használják fel a városi és vidéki plébániatemplomok építésénél. Az egyház ellenreformációs törekvéseinek egyik legfőbb támogatója a jezsuita rend, mely építészeti szempontból is rendkívül nagy jelentőséggel bír. XVII-XVIII. századi templomaik szinte kivétel nélkül három-négy szakaszos fiókos dongaboltozattal fedettek, melyhez a hajóval nagyjából megegyező szélességű, két szakaszos szentély csatlakozik. A tér alaptípusa a rend anyatemplomának, a római II Gesú-nak a bécsi- (1623-31), illetve Magyarországon a nagyszombati (1629-37) példáknál megjelenő, a kupolás tér elhagyásával leegyszerűsített változata. Ez a fiókos – esetenként külső vagy belső hevederekkel is erősített – dongával fedett, a hajóban oldalkápolnákkal bővített tér általános a XVII. századi és XVIII. század eleji magyarországi templomépítészetben. A boltozatot sokszor meglevő, középkorból fennmaradt falakra építik rá és mivel általában kis fesztávokról van szó, nem igényel különleges szerkezeti tudást, teljes felületen elkészített alátámasztás után egyszerűen falazható [1. ábra].

A térszervezés következő, szerkezeti szempontból is fejlettebb változata a szerzetesrendek között a jobb anyagi lehetőségekkel rendelkező minorita rendhez köthető. A minorita-típusú templomok csehboltozatok sorozatával fedettek. A templomhajó három-négy boltszakaszból áll, a szentély általában kétszakaszos, az egyes térszakaszokat hevederívek választják el egymástól. Hasonló térrendszert alkalmaznak a monasztikus rendek is fejlett barokk templomaikban. Ez a térstruktúra az egyes, csehboltozattal, azaz gömbfelülettel fedett tér-



1. ábra Jezsuita térrendszerű, fiókos dongával fedett templom vázlata



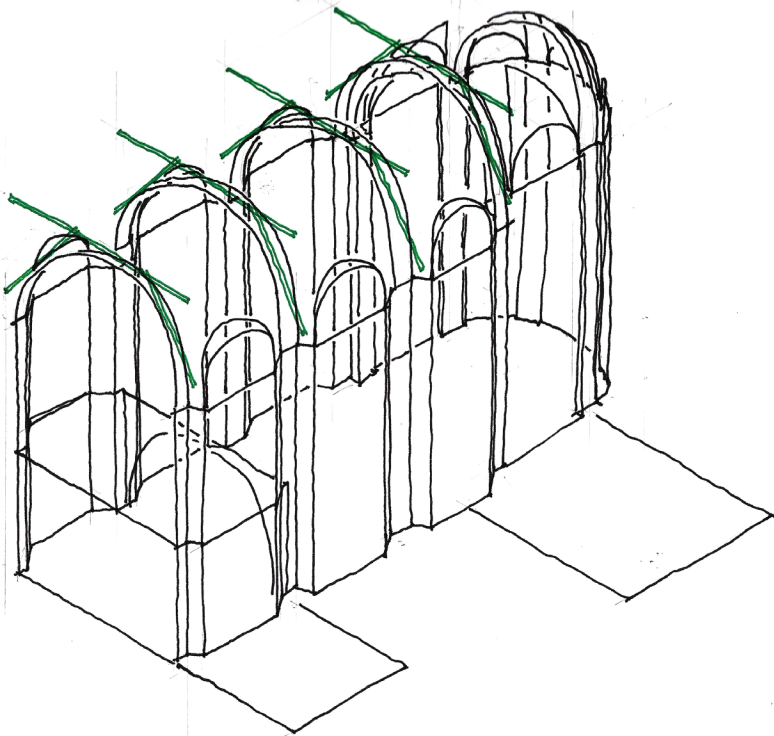
2. ábra Minorita rendszerű, csehboltozatok sorával kialakított templomtér

szakaszok függőleges tengelyének, valamint a falpillérek közötti keresztirányú térébületeknek köszönhetően önmagukban centrális jellegű terek egy tengelyre való felfűzésének tekinthető [2. ábra].

A minorita jellegű tér egyszerűbb, rövidített változata válik az érett- és késő-barokk plébániatemplomok kamarai típusterveken is megjelenő alapformájává. Ennél az alaprajzi rendszernél a templomhajó kétszakaszos, csehboltozatos, ehhez diadalívvel egyszakaszos szintén csehboltozatos szentély csatlakozik [3. ábra].

Szerkezeti fejlődés

Az előzőekben vázolt térrendszer-fejlődés technikai feltételét a cseh- illetve csehsüveg-boltozatok kialakulása és elterjedése teremtette meg. A boltozattípus a XV. századi itáliai reneszánsz építészetben már megjelenik, de előzményének



3. ábra Falusi plébániatemplom térvázlata

tekinthető a VI. századi bizánci építészetben általánosan elterjedt csehelyes kupola is. Az európai építészetben a XVIII. században válik általánossá.

A csehboltozat gömbfelületre szerkesztett, melyet négy függőleges síkkal elmetszve a csonkolt felület csupán négy ponton érinti az alapkört, négy irányba pedig félkörívvel nyílik meg. A gömbfelületből kisebb darabot kimetszve csehüveg-boltozat jön létre. A boltozatok készülhetnek négyzet, téglalap vagy sokszög alaprajzú tér fölé is; a templomépítészetben a négyzet és a téglalap alaprajzú térszakaszok alkalmazása szinte kizárólagos. A boltozat vezérgömbje általában körív, de elképzelhető kosárirve vagy ellipszisre szerkesztett csehboltozat is.

A dongaboltozattal szemben építészeti szempontból előnye a szerkezetnek, hogy a barokk kor térigényének jobban megfelelő, a centrális jellegű térszakaszok sorolásából adódóan jobban mozgásra késztető térrendszer alakítható ki. Épületszerkezeti szempontból pedig a dongaboltozatot a teljes vállvonal mentén alátámasztó hosszfalas szerkezeti rendszer helyett a boltszakaszokat a sarkaikon megtámasztó pillérvázás rendszer jöhet létre, mely szükségszerűen kevesebb építőanyagot igényel, tehát – a bonyolultabb építési technológia ellenére is – végső soron olcsóbb, mint a dongaboltozatos térlefedés.

A szinte minden esetben téglából készülő csehboltozat a homlokívei mentén a hevederívvel szervesen összeépül, bár a boltozás készülhet két építési fázisban is: a csorbázattal kialakított hevederívek közötti felület utólag is beboltozható. A falazás technikája többféle lehet: készülhet gyűrűs [4. ábra], vagy fecskefarkú [5. ábra] falazási móddal. Gyűrűs falazási technika esetén az egyes téglasorok önálló gyűrűt, önmagukban állékony kört alkotnak, melyek átmérője a záradék felé haladva folyamatosan csökken. Ebben az esetben a boltozat alátámasztás nélkül, kézből falazható, csupán egy mérőszinőr szükséges, mely a boltfelület középponttól való állandó távolságát biztosítja. A fecskefarkú boltozás esetén a boltozat négy negyedében más irányban futnak a téglasorok, az egyes felületek a hossz- és kereszttingely mentén kapcsolódnak egymáshoz. A boltozatoknak az alsó harmada általában vastagabb (egy téгла), a felső rész vékonyabb (fél téгла vastagságú). Nagyobb fesztávolság esetén a boltozatot a hossz- és kereszttingely mentén [6. ábra], vagy átlós irányban [7. ábra] falazott külső oldali hevederívek erősítik.



4. ábra Gyűrűsen falazott csehboltozat.
Nagylós, római katolikus templom



5. ábra Fecskefarkú falazással készült
csehboltozat. Pinnye, római katolikus
templom



6. ábra Hossz- és kereszttengety mentén
elhelyezett bordával erősített boltozat.
Himod, római katolikus templom



7. ábra Átlós bordákkal merevített cseh-
boltozat. Kópháza, kegytemplom

A boltozatok, mint térben hajlított, kizárólag nyomóerő felvételére alkalmas falazott szerkezetek a terhelésükből és önsúlyukból adódó terheket függőleges és vízszintes erők formájában az őket alátámasztó szerkezeteknek adják át. Dongaboltozat esetében az alátámasztó szerkezet vonalmenti, keresztboltozat és csehboltozat esetében pontszerű. Az alátámasztó – többnyire szintén falazott szerkezetű, tehát csak nyomásra dolgozó – szerkezettel kapcsolatos követelmény, hogy a függőleges teherből és a boltozat oldalnyomásából származó vízszintes erőkomponens eredője a falazott szerkezet magidomán belül maradjon, azaz a falazatban vagy a pillérben ne léphessen fel a szerkezetet károsító hajlítónyomaték.

Ezt a követelményt többféle szerkezeti megoldással, illetve ezek kombinációjával lehet kielégíteni.

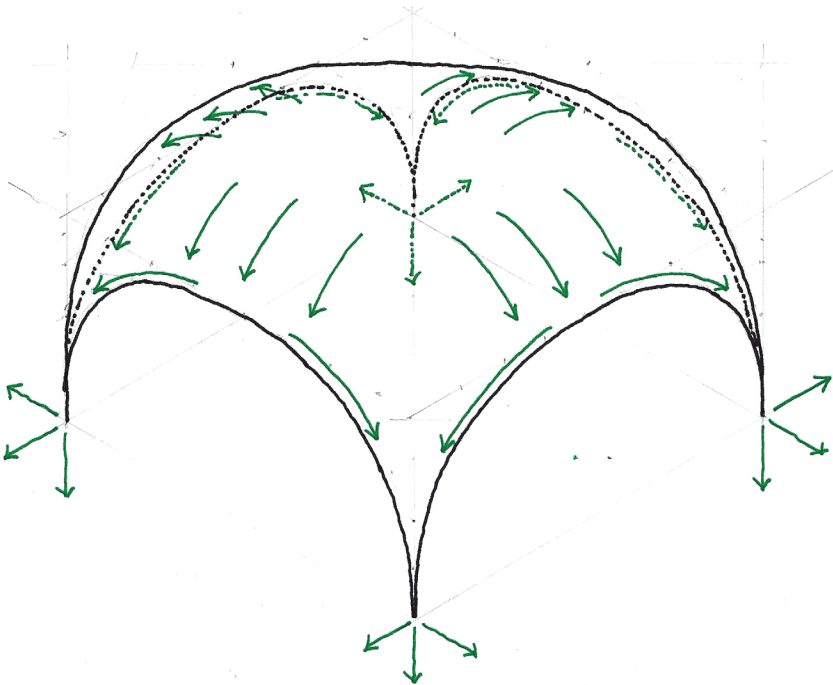
A korai barokk építészeti középkori mintára alkalmaz vastag, a dongaboltozat oldalnyomását elviselő falszerkezeteket, de találunk példát haránt irányú támpillérek alkalmazására is. Utóbbi pontszerűen támaszkodó, a terheket koncentráltan átadó boltozatok: nagyméretű fiókokkal épült donga vagy csehboltozat esetén működik hatékonyan. Sok esetben találkozunk a templomokhoz utólagosan hozzáépített támpillérekkel, melyeket minden bizonnyal a boltozat repedései miatt építettek [8. ábra].



8. ábra Utólag támpillérekkel megtámasztott csehboltozatos templom. Újkér, római katolikus templom



9. ábra Vonóvassal megerősített boltozat. Kópháza, kegytemplom



10. ábra Csehboltozat erőjátéka

Szintén gótikus eredetű megoldás a boltozatok vállpontjainak közvetlen összekötése vonórúddal⁵, mely a XVII-XVIII. században többnyire kovácsoltvas elemek felhasználásával történik. A vékony, vonalszerű elemek megjelenése a belsőben azonban zavaró, ezért reprezentatív belső térben ritkábban fordul elő. Egyszerű kivitelezhetősége miatt azonban sokszor alkalmazzák ezt a megoldást boltozatok utólagos megerősítésénél⁶ [9. ábra].

A csehsüveg-boltozat a terheit négy irányban hevederíveknek adja át, melyek a boltmező négy sarkán támaszkodnak és itt továbbítják terheiket a falazatnak [10. ábra]. Logikus tehát, hogy az oldalnyomásból származó, a falakat vagy pilléreket kifelé hajlító vízszintes erők kiegyenlítése is ezen a ponton történjen. A vállpontba beépített vonórúd szerkezeti szempontból tökéletes megoldás. A belső tér zavartalan látványa érdekében azonban gyakori a (keresztirányú) hevederívek külső oldali, a padlástérben elhelyezett „feszítése”. A feszítőmű a hevederív vonalát követve, az ívet egyenes húrokkal közelítve trapéz alakú. Felső, vízszintes rúdja készülhet a vállpontok fölötti falazatra támaszkodó fagerendából, ezt a hevederív záradékpontja felett vezetik el [11. ábra]. A gerendához körülbelül a feszítávolság harmadolópontjaiban ferde rudak kapcsolódnak, melyek a hevederbe befalazva, 45 fokos szögben futnak a vállpontok felé. A ferde rudak kovácsoltvas elemekből készülnek, a gerendához patkó alakú bilincessel kapcsolódnak, így a terhek szimmetrikus átadása biztosítható, a szerkezetben nem lép fel csavaró erő. A bilincset a gerendához kovácsoltvas ék rögzíti. Később barokk templomoknál a vízszintes rúd is készülhet kovácsoltvasból, ezt kisebb helyigénye miatt a hevederívbe falazva akár az intrados záradékpontjáig lehet süllyeszteni, így az erőjáték szempontjából kedvezőbb geometria alakítható ki [12. ábra]. Ugyanakkor a viszonylag kis keresztmetszetű kovácsoltvas rúd nem tud megfelelni a hajlító igénybevételnek. A ferde rudak lehorgonyzása a boltváll közelében a falazat belsejében vagy az oldalhomlokzaton falkötő vassal történik [13. ábra]. Előfordul a fedélszerkezet kötőgerendájának vízszintes rúdként való felhasználása is, ez azonban sem a geometriai elrendezés (a kötőgerenda jóval a boltozat felett helyezkedik el), sem a kötőgerendára, illetve a függesztőműre jutó hajlítónyomaték szempontjából nem szerencsés megoldás⁷ [14. ábra].

5 A vállpontok fa vonógerendával való összekötése általános megoldás az itáliai gótikában. A legközismertebb példák a firenzei dóm vagy a velencei SS. Giovanni e Paolo templomai.

6 Kópháza (Győr-Moson-Sopron megye), kegytemplom utólagos megerősítése.

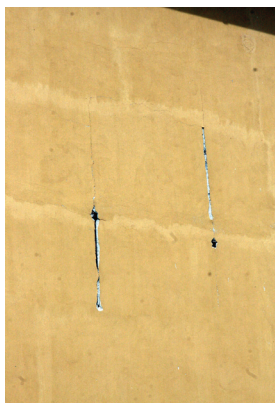
7 Gilyén Jenő 1961 176. oldal



11. ábra Boltozati feszítőtű vízszintes gerendája és a ferde feszítőrúd csatlakozása. Vadosfa, római katolikus templom



12. ábra Boltozati feszítőtű kovácsoltvas elemekből. Kópháza, kegytemplom



13. ábra Boltozati feszítőtű falkötő vasai a homlokzaton. Pereszteg, rk. templom

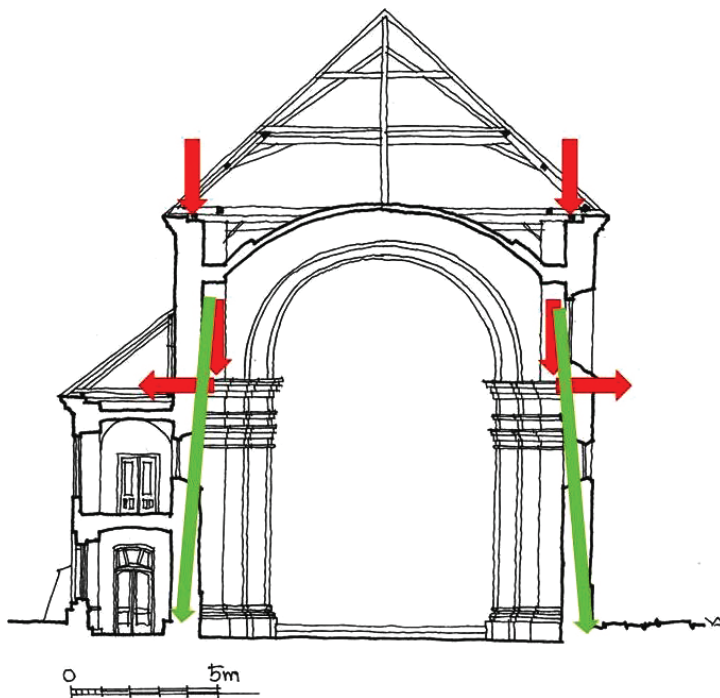


14. ábra A kötőgerenda felhasználása a boltozati feszítőtű szerepében. A szerkezet szemmel láthatóan nem alkalmas a boltozatok oldalnyomásának felvételére

A boltozatok oldalnyomásából származó vízszintes erők felvételében a fenti megoldásokon túlmenően más, látszólag másodlagos szerkezetek is szerepet kapnak. A fedélszerkezet függesztőműve, illetve kötőgerendája a fal párkány-magasságban való összefogásával ad a két vállpontnak vízszintes megtámasztást, egymáshoz merevíti a hosszfalakat. A tető legfontosabb szerepe azonban a súlyából származó leterhelés. A barokk templomok építésének idején – legalábbis rangos épületek esetében – általános volt az égetett agyagcserép használata, melyet tájegységtől függően egyenes vágású-, szegmensíves (hódfarkú)-, vagy háromszögben végződő kialakítással gyártottak. A cserepek a vízzárás érdekében kettős fedésként kerültek a tetőre, ilyen módon a faanyagban is bővelkedő tetőszerkezet a cserépfedéssel együtt jelentős súlyt képvisel, mely a sárgerendák közvetítésével függőleges erőket ad át a falzatnak [15. ábra].



15. ábra Barokk fedélszerkezet. Fertőszentmiklós, római katolikus templom



16. ábra Csehsüvegboltozatos barokk templom erőjátékának vázlata

A tető oldalnyomásából származó vízszintes terheket a kötőgerenda veszi fel, így vízszintes teherként csak a szélteher jelentkezik a falakon. A kötőgerenda ugyanakkor összefogja a falegyent, tehát részt vesz a boltozatok vízszintes erőinek kiegyenlítésében is [16. ábra].

A tetőszerkezet előzőekben vázolt leterhelő szerepét csak abban az esetben tudja kifejezni, ha az építése megelőzi a boltozatokét. Nagy valószínűséggel állíthatjuk tehát, hogy a barokk boltozott templomok többségében a fedélszerkezet megépítése és a templom befedése után készültek a boltozatok. A szerkezeti összefüggések mellett ezen technológiai sorrend másik előnye, hogy a boltozat falazása fedett térben történhetett.

A barokk korban még nem méretezték a szerkezeteket. A szükséges keresztmetszeteket, méreteket tapasztalati úton határozták meg. A szükséges biztonság mellett ugyanakkor törekedtek a lehető legkevesebb anyag felhasználására is. A boltozatok, különösen a csehboltozat, rendkívül érzékeny az elmozdulásokra. A vállpontok süllyedése vagy vízszintes elmozdulása esetén deformálódik, felületén repedések jelennek meg. Ugyanakkor deformáció után, az erőtér átrendeződésével rendszerint ismét stabil helyzet áll elő. A megfigyelések alapján barokk kori boltozott szerkezeteink többsége ebben a deformált, második egyensúlyi állapotban maradt fenn⁸.

A boltozatok károsodásának többféle oka lehet. Mint korábban említettük, ezen szerkezetek rendkívül érzékenyek a vállpontok függőleges vagy vízszintes elmozdulására. A boltvállak függőleges elmozdulása a falazat süllyedéséből származik, melynek számos talajmechanikai, alapozási, vagy éppenséggel a csapadékvíz-elvezetéssel összefüggő oka lehet. A vízszintes elmozdulást, vagyis a fal kifelé dőlését a falazatra jutó eredő erő külpontossága okozza. Tekintettel arra, hogy a boltozat oldalnyomása a megépítés után jelentősen nem változik, az eredő erő irányát a függőleges erőkomponens nagysága határozza meg. Sok esetben a jó szándékú tetőjavítás vezet a boltozat károsodásához. Amennyiben a tetőfedés cseréjekor az összes cserepet egyszerre távolítják el a tetőről, arra az időszakra, amíg az új tetőfedés fel nem kerül, a tető súlyából származó erőhányad gyakorlatilag kiesik, a szerkezet könnyen deformálódhat. Ugyanígy hibaforrás az is, ha a kettős fedést – sokszor statikai okokra hivatkozva(!) – egyszeres fedésre vagy más könnyebb tetőfedő anyagra cserélik, így hosszú távon jelentősen csökkentve a falazatra jutó függőleges terheket, azaz kedvezőtlenül

8 Gilyén Jenő 1961 175-176. oldal



17. ábra A tehergépjármű-forgalom miatti rezgések okozzák a nagylózsi római katolikus templomban a boltozatok egyre táguló repedéseit

megváltoztatva a falakban az eredő erő irányát. A kötőgerendák elkorhadása vagy a tetőszerkezet teljes átépítése esetén a kötőgerendák esetleges elhagyása szintén végzetes hibákhoz vezethet⁹. A fedélszék legsérülékenyebb része a párkány közeli rész. Az itt elhelyezkedő sárgerenda tönkremenetele esetén a kötőgerendák elfordulnak, vagy nem tudják a vízszintes erőket megfelelően átadni a falazatnak, ami az eredeti erőjének felborulása miatt szerkezeti elmozdulásokhoz vezethet. A feszítőmű tönkremenetele (vonógerenda elkorhadása, kovácsoltvas rudak nyúlása, a rudak és a gerenda kapcsolatának tönkremenetele) vagy eltávolítása ugyancsak súlyos szerkezeti problémákhoz vezethet. A már megrepedt boltozatokon gyakran okoz további komoly károkat a templom szomszédságában futó úton zajló forgalom. Elsősorban a nehéz tehergépjárművek által keltett rezgések károsak, melyek rendkívül erősen jelentkeznek olyan helyen, ahol a járművek fékeznek vagy gyorsítanak¹⁰ [17. ábra].

9 Dulácska Endre 2010

10 A Statikai szakvélemény szerint a tehergépjármű-forgalom okozza a nagylózsi (Győr-Moson-Sopron megye) római katolikus templom boltozatán a károsodásokat. Megfigyelhető, hogy az elmúlt évtizedben, amióta a környékbeli ipari üzemek forgalma megnőtt, a templom boltozatán a repedések jelentősen megnyíltak. A templom egy korábbi, XIX. századi felújítás során külső támpilléreket kapott, ami arra utal, hogy a szerkezet mozgása nem új keletű folyamat.



18. ábra Boltozat megerősítése az eredeti feszítőmű helyére kerülő acél feszítőművel. Vadosfa, római katolikus templom

Barokk templomaink jelentős része műemléki védettség alatt áll, tehát eredeti állapotban való megőrzésük fontos feladat a társadalom és a műemléki szakma számára egyaránt. A műemléki beavatkozások minden esetben nagy hangsúlyt fektetnek a berendezések, a belső díszítőfestés restaurálására, az egyes épületszerkezetek (nyílászárók, padlóburkolatok) megőrzésére, sajnálatos módon rendkívül kevés azonban a tartószerkezetek, boltozatok károsodása esetén az eredeti erőjátéknak megfelelő helyreállítás.

A csehboltozatok jellemző károsodása a záradék mentén jelentkező repedés, rosszabb esetben a hevederívek záradékának megsüllyedése. Az ilyen jellegű hibák esetében a szerkezet-megerősítésre vonatkozó tervek sokszor még csak nem is ábrázolják a boltozat feszítőművét – mely sokszor valóban nehezen észrevehető, és csak a padláspiszok eltakarítása után fedezhető fel – és nem keresnek összefüggést a tetőszerkezettel.

Az elégtelen adatfeltárás következtében sok olyan tervjavaslat születik, mely jellegében megváltoztatja a boltozat erőjátékát (hevederívek intradosának acélspirálos megerősítése, illetve csehboltozat külső felületén vasbeton héjszerkezet kialakítása), emiatt műemléki szempontból kevésbé támogatható. Van azonban példa arra is, hogy a megrepedt boltozatokat az eredeti feszítőműhöz hasonló szerkezettel erősítik meg¹¹ [18. ábra].

11 2015-ben készült Vadosfa (Győr-Moson-Sopron megye) templomában a boltozat szerkezeti megerősítése. Itt az eredeti feszítőmű helyére került be egy korszerű feszítőszerkezet: vízszintes acélgerendához kapcsolódó ferde vonórudakat építettek be, melyeket a hevederívbe fúrt furaton vezettek keresztül és a fal külső síkján, utólag tovább feszíthető csavaros kapcsolattal horgonyozták le.

Összefoglalásképpen megállapíthatjuk, hogy a jellemzően csehboltozatok sorával lefedett barokk plébániatemplomok, elmozdulásokra alaphelyzetben is érzékeny boltozatainak károsodása sok esetben vezethető vissza mesterséges okokra: a fedélszerkezet hibáira, illetve szakszerűtlen javítására.

A fedélszerkezeten vagy a tetőfedésen végzett beavatkozások tervezése során minden esetben figyelembe kell venni, hogy a szerkezet súlyával, kötőgerendáival milyen módon vesz részt a boltozat és a falazat erőjátékában és az alkalmazott technológiát is a fedélszék statikai szerepének figyelembevételével kell megválasztani.

A boltozatok szerkezeti javításakor pedig érdemes a szerkezet építéskori erőjátékát alapul venni, a vízszintes erők kiegyenlítését szolgáló eredeti szerkezeti elemeket felkutatni, és amennyiben állapotuk megkívánja, ezeket a műemléki szempontok figyelembevételével javítani vagy korszerűbb szerkezetre cserélni; ezáltal elkerülhetőek a nagyobb, műemléki értékeket veszélyeztető megerősítések.

Irodalom

- Andorné Tóbiás Judit: A XVII-XVIII. századi Magyarország barokk templomépítészetének szerkezeti kialakulása és fejlődése. In: Építés-építészettudomány. VI. kötet. 1974. 3-4. szám. 341-386. oldal.
- Bajza József: Szemrevételezéses épületdiagnosztika. Terc Kiadó. Budapest. 2006.
- Barbara Borngässer, Rolf Toman: Barokk stílus. Vince Kiadó. Budapest. 1999.
- Déry Attila: Történeti szerkezettan. Terc Kiadó. Budapest. 2002.
- Dulácska 2010 = Dulácska Endre – Dulácska Zsolt: Összedőlt egy templom. in: Műemlékvédelem. LIV. évfolyam 2. szám. 2010. 114-117. oldal
- Farbaky Péter: Magyar reneszánsz és barokk építészet. 2. kiadás. BME. Építészettörténeti és Elméleti Intézet. Budapest. 1982.
- Fátrai György: Történeti tetőszerkezetek. Terc Kiadó. Budapest. 2008.
- Gilyén Jenő 1961 = Gilyén Jenő: A műemlékvédelem néhány szerkezeti problémája. in: Műemlékvédelem. V. évfolyam 3. szám. 1961. 175-179. oldal
- Gilyén Nándor: Néhány gondolat a műemlékek tartószerkezeti megerősítéséről. in: Műemlékvédelem. XXXIX. évfolyam. 1. szám. 1995. 41-43. oldal

- Guzsik Tamás: Keresztény liturgiák építésze. BME Építészettörténeti és Műemléki Tanszék. Egyetemi jegyzet. évszám nélkül.
- Levárdy Ferenc: Magyar templomok művészete. Szent István Társulat. Budapest. 1982.
- Marosi Ernő: Magyar katolikus templomok – művészettörténeti áttekintés. in Dercsenyi Balázs, Hegyi Gábor, Marosi Ernő, Török József: Katolikus Templomok Magyarországon. Hegyi & Társa Kiadó. Budapest. 1992. 24-51. oldal
- Sobó Jenő: Középtéstan I-II. Jubileumi reprint kiadás. Soproni Egyetem Faipari Mérnöki Kar. Építéstani Tanszék. Sopron. 1998.
- Szabó Bálint: Történeti tartószerkezetek illusztrált szakszótára. Kriterion-Utilitas. Cluj-Napoca. 2005.
- Szabó Bálint: Történeti tartószerkezeti beavatkozások. Utilitas Kiadó. Cluj-Napoca. 2012.
- Szentkirályi Zoltán: Az építészet története. Újkor. Barokk. Nemzeti Tankönyvkiadó. Budapest. 1986.
- Urbán István: Szerkezettervezési (statikus) munka a műemlékek helyreállításánál. in: Műemlékvédelem XVI. évfolyam 1. szám. 1972. 30-37. oldal
- Urbán István: Szerkezettervezési (statikus) munka a műemlékek helyreállításánál. II. rész. in: Műemlékvédelem XVI. évfolyam 2. szám. 1972. 109-115. oldal
- Urbán István: Szerkezettervezési (statikus) munka a műemlékek helyreállításánál. in: Műemlékvédelem XVI. évfolyam 4. szám. 1972. 246-250. oldal
- Urbán István: Szerkezettervezési (statikus) munka a műemlékek helyreállításánál. in: Műemlékvédelem XVIII. évfolyam 1. szám. 1974. 29-36. oldal
- Urbán István: Szerkezettervezési (statikus) munka a műemlékek helyreállításánál. in: Műemlékvédelem XVIII. évfolyam 2. szám. 1974. 99-102. oldal
- Veöreös András: XVIII. századi ferences kolostorok Erdélyben. PhD dolgozat. Kézirat. Közzétéve a BME honlapján: www.omikk.bme.hu.

OK



SZÉCHENYI
ISTVÁN
EGYETEM

SZE - GYŐR



AUSTROTHERM