

Kóczán Zsófia¹, Pásztory Zoltán²

PAPÍR ALAPÚ TERMÉKEK AZ ÉPÍTŐIPARBAN

PAPER-BASED PRODUCTS IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY

KIVONAT / HUN

A papír alapú termékek az ipar számos területén megjelennek, így jelen cikk a papíripari termékek építőiparban való alkalmazhatóságát kívánja bemutatni. Mivel az építőipari szektor nagy energia- és erőforrásigényű, így elengedhetetlen, hogy ezen a területen is előtérbe kerüljenek a természetes alapú, fenntartható forrásból származó anyagok. A papír, valamint a karton használata az építőiparban nagy múltra tekint vissza, különösképpen a távol-keleti kultúrában. Shigeru Ban munkásságának köszönhetően a 20. század végén vált népszerűvé a papírcsövek alkalmazása, hiszen szerkezeti elemekként alkalmazva ideiglenes építményeket készített. Napjainkban a cellulóz alapú termékek szigetelőanyagként való felhasználása válik egyre elterjedtebbé. A folyamatos kutatások és fejlesztések elősegítik, hogy a papír alapú termékek hosszútávú és fenntartható megoldásokat jelentsenek az építőiparban.

Kulcsszavak: papír az építészetben, fenntartható építőipar, méhsejt szerkezet, papírcső, cellulóz alapú szigetelés

ABSTRACT / ENG

Paper-based products appear in many areas of industry, so the aim of this article is to present the applicability of paper products in the construction industry. Since the construction sector requires a lot of energy and resources, it is essential that natural-based, sustainable materials come to the fore in this area as well. The use of paper and cardboard in the construction industry has a long history, especially in Far Eastern culture. Thanks to the work of Shigeru Ban, the use of paper tubes became popular at the end of the 20th century, as he used them as structural elements to create temporary structures. Nowadays, the use of cellulose-based products as insulating materials is becoming more and more widespread. Continuous research and development help paper-based products to be long-term and sustainable solutions in the construction industry.

Keywords: paper in the construction sector, sustainable construction, honeycomb structure, papertube, cellulose-based insulation

¹ könnyűipari mérnök, MSc, PhD hallgató, Soproni Egyetem, e-mail: koczan.zsofia@uni-sopron.hu

² faipari mérnök, PhD, egyetemi tanár, Soproni Egyetem, e-mail: pasztory.zoltan@uni-sopron.hu

1. | BEVEZETÉS

A fenntarthatóság az élet minden területén kiemelkedő figyelmet és jelentőséget kap. Mivel az építőipar jelentős erőforrásokat és energiákat használ az építőanyagok előállítása, az építkezések, valamint felújítások során, így a fenntarthatósági törekvések ezen az ipari területen elengedhetetlenek [1]. Ennek a szempontnak eleget tenni leginkább a fenntartható anyagok használatával lehet. A papír, valamint a karton mint alapanyag az ipar számos területén megjelenik, hiszen alapanyaga a cellulóz, amely a legnagyobb mértékben előforduló természetes polimer a bolygón. A kimeríthetetlennek tűnő alapanyagból készült termékeknek számos kedvező tulajdonsága van, amely miatt népszerű anyagnak tekinthető. Megújuló alapanyaga révén környezetbarát termék, a körforgásos gazdaság modelljébe is beilleszthető, hiszen újrahasznosítható, az életút végén pedig biológiailag lebomlik [2] [3] [4]. A papír és a karton az építészet területén olyan alternatív alapanyagok, amelyek hozzájárulnak és elősegítik a fenntarthatóságot, hiszen az építőiparban jelentkező hulladék mennyisége nagyon jelentős. A papír alapú termékek olcsó és környezetbarát megoldást kínálnak.

2. | PAPÍRIPARI TERMÉKEK AZ ÉPÍTŐIPARBAN

Az építőiparban felhasználható papírtermékeknek bizonyos kritériumoknak meg kell felelnie, ahhoz, hogy lehessen azokat alkalmazni. Így például megfelelő nyomó-, húzó- vagy hajlítószilárdsággal kell rendelkezniük ahhoz, hogy elviseljék a szerkezeti terhelést, ezzel pedig nem megújítható és nagy beépülő energia igényű termékek válhatnak ki, mint például a műanyagok, a beton vagy akár a fémek. A kartontermékek építőipari felhasználása korlátozott, így ideiglenes szerkezetekhez, vagy alacsonyabb költségű, rövidebb élettartamú pavilonok, óvóhelyek kialakításához alkalmazhatók. Ezt leginkább az anyag tartóssága és biológiai sebezhetősége indokolja [5] [6]. Hiszen a papírt alacsony mechanikai szilárdságú és gyenge sérülésállóságú anyagnak tekintik. Vizes környezetben a szilárdsága nagymértékű gyengülést mutat, az anyag nedvességtartalmának minden 1%-os növekedése hozzávetőleg 10%-os mechanikai szilárdságcsökkenést eredményez [7].

A karton számos olyan kedvező tulajdonsággal rendelkezik, amely alkalmassá teszi építőipari alapanyagként. Ezen tulajdonságok között sorolható, hogy könnyű, olcsó, több alkalommal is újrahasznosítható, valamint hang- és hőszigetelő tulajdonságai megfelelőek [7] [8] [9]. További előnyös környezeti hatása a papír és karton termékeknek azontúl, hogy újrahasznosítható, az, hogy már elsőre is készülhet újrahasznosított anyagokból. Ezen fajta felhasználása a papírnak nemcsak a fenntartható papíripart segíti elő, de a fenntartható építészetet is [10].

A papíriparban gyártott termékek közül számos olyan terméket lehet felsorolni, amely alkalmazható szerkezeti vagy egyéb kiegészítő elemként az építőiparban. Diarte és Shaffer [6] az 1940 és 2019 között épült karton épületeket vizsgálta, és arra a következtetésre jutottak, hogy a leggyakrabban elő-

1. TÁBLÁZAT: Az építőiparban leggyakrabban alkalmazott papírtermékek

papírtermék	építőipari felhasználás	forrás
papírcső	betonoszlop, földem zsaluzata: sonotube, sonovid; szerkezeti teherhordó elem, falpanel	[11] [12]
hullámpapírlemez	falpanel	[13]
méhsejt panel	szerkezeti gerenda, falpanel, homlokzati elem	[9] [14]

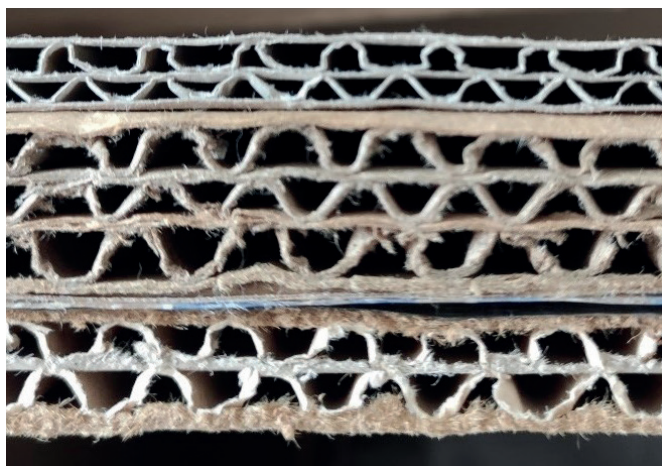
forduló papírtermékek az épületfelmérés során a hullámpapírlemezek, a méhsejt panelek és a papírcsövek voltak. Az 1. táblázat ezen leggyakrabban alkalmazott termékeket, valamint a felhasználás módját mutatja be.

A papírcső (1. ábra) az a papíripari termék, amelyet a leggyakrabban alkalmaznak az építőiparban, például a nagyobb papírcsöveket betonoszlopok eldobható zsaluzataként használják fel, a kisebbeket vasbeton födémek könnyítését szolgáló térkitöltő anyagként, de tartószerkezeti elemként is gyakran alkalmazzák. Azonban utóbbi esetben a papírcsöveken, mint elsődleges szerkezeti elemeken túl az illesztésekhez, valamint a szerkezeti csatlakozásokhoz már hagyományosabb szerkezeti anyagokat (fém, fa, beton, szövetek) alkalmaznak. A papírcsöveket leggyakrabban axiális nyomóterhelésnek kitett oszlopként használják [11] [12]. A papírcsövek gyakorlati alkalmazására számos példa van, melyet a következő fejezetben mutatunk be részletesen.

A hullámpapírlemezek nem csak a csomagolóipar legnépszerűbb anyagai, hanem az építőiparban való alkalmazásuk is előfordul, amely annak köszönhető, hogy nagyon változatos szilárdsági értékeket mutathatnak, az alkotó rétegek számától, valamint a hullámosítás típusától függően (2. ábra) [14] [15]. Ezen kívül a szilárdságot jelentősen befolyásolhatja az alkalmazott ragasztó típusa is. Extra szilárdságot adna a szerkezetnek, ha a vízbázisú ragasztók helyett melamingyantát alkalmaznának. Azonban ez lehetetlenné tenné ezen anyagok újrahasznosíthatóságát [6]. További kedvező tulajdonság, hogy a hullámpapírlemezek rétegzésével jelentős hangszigetelés is elérhető [16].



1. ÁBRA: A Soproni Egyetem papírcsövekből készült kiállítói standja



2. ÁBRA: Különböző típusú hullámpapírlemezek

A hullámpapírlemezek gyakorlati alkalmazására már 1972-ben volt példa, amikor a 3H Design cég a müncheni olimpia alkalmából megalkotta a Pappedern kiszolgáló épületet. Ennek megépítéséhez 30 mm vastag, üvegszállal bevont hullámpapírlemezt alkalmaztak, amelyeket előregyártva szállítottak a helyszínre [13].

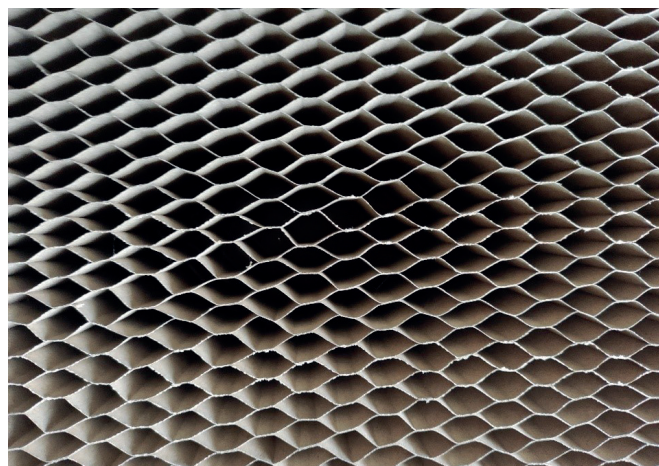
A méhsejt panel (3. ábra) három rétegből álló szendvics-szerkezet, két burkolat között helyezkedik el a méhsejtszerű szerkezet. Amellett, hogy könnyű anyag, nagy szilárdsággal rendelkezik. A bútorokban, asztallapokban, polcokban és ajtóknál lemezek közötti támasz anyagként is megjelenhet [12]. Azonban építőipari felhasználására is láthatunk példát, hiszen Paul Rohlfs holland építész 1970-1980 között számos papírház prototípust épített, amelyekből az egyik típus méhsejt panelekből állt, amelyet párazáró réteggel is elláttak, így ez több hónapig lakható volt [13].

3. | ALKALMAZÁSI PÉLDÁK

A papír az építészetben már az i.sz. 8. században megjelent. Kínában, Koreában gyártott, hajtogatott panelek formájában. Másik alkalmazása a papírnak a Japánban fejlesztett és alkalmazott térelválasztók és tolófalak voltak. Ezek a hagyományos japán építészet elemeit jelentették, melynek két fő típusa volt, az átlátszatlan vagy gyakran festményekkel borított Fushima panelek, és a fényt átengedő Shoji panelek [17].

A papír távol-keleti alkalmazásain túl a 19. században megjelentek a kartonlemezek felhasználásával készített légüreggel kialakított panelek, amelyeket nyaralókhoz, kórházakhoz és trópusi lakóépületekhez is felhasználtak [18].

A második világháború miatt fellépő lakáshiány az építőiparban a papírtermékek nagymértékű felhasználását indította meg. Ekkor az egyetemek és magáncégek is végeztek kísérleteket, amelyben a papír alapú termékeket kombinálták egyéb anyagokkal, így létrehozva kompozit paneleket. 1944-ben kifejlesztettek egy kísérleti menedékházat, amelynek fő alkotói a kénnel átitatott és tűzálló anyaggal bevont hullámkartonlemezek voltak. Ennek a szerkezetnek az élettartamát 1 évre becsülték, azonban volt köztük olyan ház is, amelyet 25



3. ÁBRA: Méhsejt szerkezet, a szendvicsszerkezet középső rétege

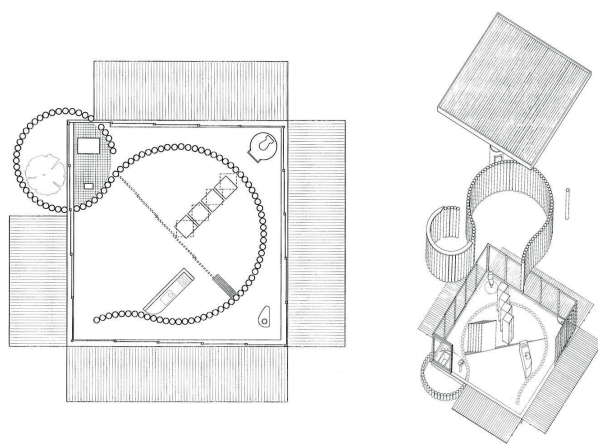
évig használtak. A 20. század közepén poliuretán habbal töltött és kívülről polietilén fóliával vízszigetelt kartonlapokból készítettek paneleket, amelyekből idénymunkásoknak építettek menedékházakat [5].

Shigeru Ban japán építész érte el azt, hogy a papír bejegyzett építőanyag legyen, amikor papírcsöveket alkalmazott az épületek szerkezetének megalkotásához. Ezzel az ötletével az egész világ számára bemutatta a karton építőipari felhasználhatóságát, valamint cáfolta a papír szilárdságáról és tartóságáról szóló negatív elképzeléseket [8]. Munkássága során a papírt csövek, méhsejt panelek és membránok formájában is alkalmazta építményeiben. Ezek a szerkezetek ideiglenes pavilonok, kiállítótermek, menedékházak voltak [12]. A papírcsövek alkalmazását számos gyakorlati példán bemutatták már. Shigeru Ban 1995-ben megtervezett munkája, a Paper House (4. ábra) az első, olyan állandó engedélyt kapott, és teljesen működő ház, amelyben a fő szerkezeti elemek papír alapú termékek voltak [10].

Az Architects' Voluntary Network nevű civil szervezetet Shigeru Ban alapította meg egy 1995-ös nagy földrengés után, amely a Japánban található Kobe városában történt. A civil szervezet építészettel foglalkozik, így nevükhöz kapcsolódik a menedékhelyként szolgáló Papír rönkház. Ez az építmény jó példája annak, hogy sürgősségi esetekben megfelelő megoldást jelent egy papír alapú ideiglenes szerkezet [5] [13].

Shigeru Ban japán építész munkái közé tartozik a Japán Pavilon (5. ábra), amely a legnagyobb építmény, ahol papírtermékeket használtak szerkezeti elemként. A pavilont a 2000-es hannoveri világkiállításra építették fel, és hét hónapig állt a helyén. Ez egy rugalmas rácsos szerkezet volt, amelyben a rácshéj szerkezetét 120 mm átmérőjű és 22 mm vastag papírcsövek alkották. A szerkezet összeállításához merev szegélyelemeket, műanyag hevedereket, merevítő faíveket, illetve acél elemeket is használtak. A csarnok alapterülete 2500 m² volt [20].

Shigeru Ban következő jelentős munkája, amelyben papírcsöveket alkalmazott, a MoMA Arch, amely egy 90 napig álló ideiglenes építmény volt. Az építményt a 20. századi művészet és építészet retrospektívájának részeként emelték a New York-i Modern Művészeti Múzeumban. Shigeru Ban tervei között található egy időszakos kiállító terem, amely egy uta-



4. ÁBRA: Shigeru Ban 1995-ben tervezett papírháza, melyben a papírcsöveket tartószerkezeti elemként használta [19]

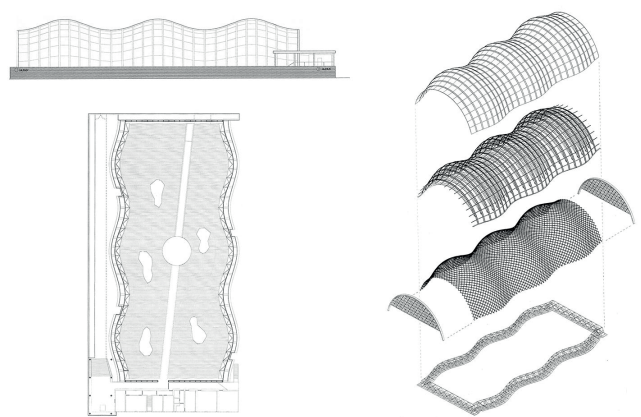
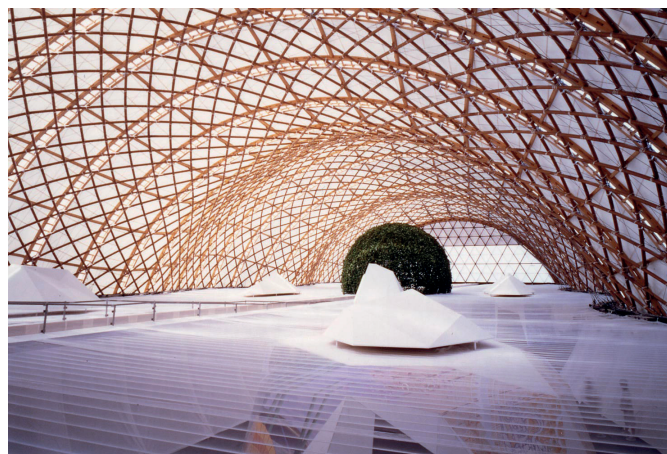
zó helyszíneknek készült, és ugyancsak papírcsövek voltak a fő építőelemek, ahogyan a korábbi munkáinál is. Ennek a projektnek a különlegessége az volt a korábbi terveihez képest, hogy ez egy olyan ideiglenes szerkezetnek készült, amelyet különböző helyszínekre szállítva újra össze- és szétszereltek, ezért a csatlakozási pontokat acéllemezekkel erősítették, hogy jobban ellenálljon a kopásnak [21].

Európában is található olyan épület, amelyben alkalmaztak papír alapú építőelemeket. A Westborough Általános Iskola 2001-ben kapott építési engedélyt, az Egyesült Királyságban, Westcliff-on-Sea kerületben. A projekt célja az volt, hogy az épület legalább 20 évig legyen használható szociális térként a gyerekek számára. A fal- és tetőpanelek szendvicspanelekből készültek, melynek alkotói a kartonpapír, valamint a favázba épített méhsejt panelek voltak. A cél egy 90%-ban újrahasznosítható anyagokból létrehozható épület lett volna, amely a törvényi korlátozások és kutatási eredmények miatt módosításra kényszerült, így végül 29%-át alkották papír alapú elemek [5] [7] [15]. A papírcsövek kültérben történő használatát Bahrami és Jafari [10] vizsgálták. Tervük az Ayatollah Saeedi Iskola (Irán, Teherán, 2018) újjáélesztése volt, mindamellett, hogy szem előtt tartják a természeti értékek és elemek megővését. Így a kitűzött cél az iskola udvarának megszínesítése volt papír hengerek által, melyek szolgálhatnak ülőhelyként, vagy akár árnyékolási célú funkciókat is betölthetnek.

4. | A PAPIRTERMÉKEK HASZNÁLATÁNAK NEHÉZSÉGEI

A papír alapú termékek építészetben való felhasználhatóságának egyik legnagyobb nehézsége, hogy az építési szabályozás számos országban nem teszi lehetővé a papír mint építőanyag használatát. A papír egy olyan alapanyag, amely eltérő tulajdonságokat mutat, attól függően, hogy milyen nyersanyagból készült, milyen cellulóz feltárási módszert alkalmaztak a nyersanyag előállításához, valamint, hogy milyen egyéb műveletet végeztek a terméken, például milyen bevonatokat kapott az anyag. Tehát a papír nem nevezhető egységes tulajdonságokkal rendelkező alapanyag, még abban az esetben sem, ha ugyanabból a gyárból származik, így nehéz szabványos értékeket meghatározni erre a termékre. Ez pedig azt eredményezi, hogy egy papírszerkezet felállítása előtt minden esetben anyagvizsgálatokat kell elvégezni, amely során meg kell bizonyosodni annak építőanyagként való felhasználhatóságáról [5] [21].

A papír alaptulajdonságai közé tartozik, hogy éghető, valamint, hogy érzékeny a nedvességre, mivel hidrophil tulajdonságú. Ezen hátrányos jellemzők enyhítésére van lehetőség, a papír felületére felvitt, különböző tűzgátló és impregnáló bevonatokkal (bórsav, bórsav, poliuretán, polimer bevonat), amelyek szinte elengedhetetlenek ahhoz, hogy a papír, mint



5. ÁBRA: A 2000-es hannoveri világhíállítás japán pavilonjának szerkezetét papírcsövekből kialakított térrács adja, Shigeru Ban terve alapján [20]

alapanyag megfelelően elő legyen készítve a különböző felhasználási feltételeknek megfelelően [5] [17] [21] [22]. A különböző bevonatok és impregnáló anyagok azonban a papír újrahasznosítását nehezítik [23] [24].

5. | PAPÍR A SZERKEZETI ELEMENEN TÚL

Az építésben a szerkezeti elemeken túl is lehet alkalmazni a papír alapú termékeket, azonban a különböző felhasználásokhoz fontos ismerni a papír tulajdonságait.

Egyre népszerűbbé válnak a cellulózszálas szigetelések (6. ábra), amelyek újrahasznosított papírszalagból készülnek, így környezetbarát megoldást jelentenek, továbbá kedvező hő- és akusztikai tulajdonságokkal is rendelkeznek. Az anyag egyre növekvő népszerűségének köszönhetően az építőiparban az építkezés és felújítás következtében megjelenő negatív környezeti hatások csökkenthetők. A hagyományos szigetelőanyagokhoz képest vannak hátrányos tulajdonságai a cellulóz alapú szigetelőanyagnak. Ezen tulajdonságok csökkentésére szervesen anyagokkal kezelik a cellulózt, amelyek leginkább tűzgátlóként és penészesedés-gátlóként hatnak. Az iparban már több cég cellulóz alapú szigetelőanyaga is megtalálható, amelyek teljesen ártalmatlanok a környezet-

re, és újrahasznosított újságpapírból készül. Panelban gyártott kivitelben, valamint ömlesztve, befújható szigetelésként alkalmazva is megtalálhatók [26] [27]. A cellulóz szigetelés képes felvenni a versenyt a piacon jelenlévő népszerű termékekkel, hiszen az anyag tulajdonságai közel megegyeznek az ásványgyapot vagy a műanyag hab szigetelő anyag paramétereivel (2. táblázat).

A gyakorlati felhasználáson túl számos kutatás keretén belül vizsgálták a különböző papír, valamint papír kompozit anyagokat, és azok építőipari felhasználhatóságát. A tudományos publikációk leginkább az anyagok hőszigetelő képességét vizsgálják, amelyek között található parafa, újrahasznosított karton és gipsz kompozit, valamint papírhulladék és mészkompozit, papírhulladék és textilszál kompozit, valamint újrahasznosított karton, mészkompozit, agyag és különböző biológiailag lebomló anyagok (pl. kukoricakeményítő) kompozitjai [30] [31] [32] [33]. Ricciardi és munkatársai [29] eredményeiből kiderül, hogy a fejlesztett hőszigetelő panelek hővezető képessége hasonló a kőzetgyapotéhoz, azonban sűrűsége jóval nagyobb annál. Továbbá az életciklus elemzés eredményeiből megállapították, hogy az új panel magas globális felmelegedési potenciált okoz, illetve nagy energiafogyasztást igényel az előállítása. Ez a példa megfelelően mutatja azt, hogy ha egy termék újrahasznosított anyagból készül, még nem feltétlenül lehet kedvezőbb környezeti hatások mellett előállítani,



6. ÁBRA: Cellulóz hőszigetelés alkalmazása padlásfödemen [25]

mint a fosszilis-alapú hasonló felhasználási célú terméket. Azonban a kutatási eredmények azt mutatják, hogy további fejlesztésekkel megfelelő alternatív alapanyagot képviselhetnek a papír alapú termékek [34].

A papír alapú termékek akusztikai, hangszigetelő tulajdonságait is vizsgálták. Asdrubali és munkatársai [35] a csomagolóiparban alkalmazott hullámkartonokból készített panelek hő- és akusztikai tulajdonságainak elemzésével foglalkoztak. Az eredmények azt mutatták, hogy a panelek hang- és hőszigetelő tulajdonságai, valamint mechanikai tulajdonságai megfelelnek ahhoz, hogy könnyű szigetelési megoldásként alkalmazzák őket az építőipar területén, leginkább belső válaszfalakban.

6. | ÖSSZEFOGLALÁS

Számos kutatást találhatunk, amely az építőipar fenntarthatóságával foglalkozik, és ezekben rendszeresen megjelennek a papír alapú termékek. A papír alapú termékeknek több, kedvező környezeti hatása van, azonban emellett megjelennek azon negatív tulajdonságai (vízfelvétel, éghetőség) is, amelyeket javítani kell annak érdekében, hogy alkalmassá váljon az építőipari felhasználásra.

Az eddig megvalósult papír szerkezetek leggyakrabban ideiglenes megoldásként épültek, több hét, vagy akár több év élettartammal. Ennek legfőbb oka, hogy a papírra rövid élettartamú alapanyagként tekintenek, továbbá, mivel nem tekinthető standard építőanyagnak, és nincsenek rá szabályozások, az építőipari engedélyeket sem adják meg hosszú távra a papír alapú szerkezetek esetében. De éppen emiatt vásárok, kiállítások vagy különféle sportesemények, rövidebb távú rendezvények alkalmával kiváló alternatívát jelentenek, hiszen így elkerülhetőek az építés / bontás során keletkező hulladékok, amelyek negatív hatással vannak a környezetünkre.

A papír leggyakrabban papírcsövek formájában jelenik meg az építőipar területén, ekkor akár szerkezeti elemekként is alkalmazzák, így alkalmas a jóval energiaigényesebb acél vagy

2. TÁBLÁZAT: A cellulóz hőszigetelés tulajdonságai összehasonlítva más elterjedten alkalmazott hőszigetelő anyagok tulajdonságaival

hőszigetelő anyag	sűrűség (kg/m³)	nyomószilárdság (kPa)	hővezetési tényező (W/mK)	forrás
cellulóz szigetelés	30-80	150	0,037-0,055	[15] [18]
extrudált polisztirolhab (XPS)	20-80	150-700	0,025-0,035	[28] [29]
expandált polisztirolhab (EPS)	10-50	60-260	0,029-0,041	[22] [28] [30]
kőzetgyapot (MW)	13-240	15-80	0,033-0,046	[22] [28] [30]
üveggyapot (GW)	8-150	15-80	0,030-0,050	[22] [28] [30]

beton elemek kiváltására. Ezen felül pedig különböző szerkezeti funkciójú elemként, egyéb térkitöltő, akár szigetelő (hő, hang) anyagként való alkalmasságát is vizsgálták már. A papír alapú termékek építőiparban való terjeszkedését jól mutatja, hogy napjainkban egyre népszerűbb megoldássá válik a papírhulladék felhasználásából előállított cellulóz anyagú hőszigetelés.

A gyakorlati példák alapján elmondható, hogy a papír alapú termékek a papír alaptulajdonságai miatt ideiglenes szerkezetként, vagy bizonyos kezeléseket után hőszigetelő anyagként kiválóan alkalmazhatók. Továbbá kutatások eredményeit alapul véve megállapítható, hogy a papír alapú termékek további térnyerése várható az építőiparban.

FORRÁSOK

[1] Viola Hospodarova, Nadezda Stevulova, Jaroslav Briancin, Katarina Kostelanska: Investigation of waste paper cellulosic fibers utilization into cement based building materials. Buildings 8(3), 43 [2018], <https://doi.org/10.3390/buildings8030043>

[2] Tshwafo Elias Motaung: Recent applications and innovations of cellulose based materials: a critical review. Cellulose Chemistry and Technology 55(1-2) 1-12, [2021], <http://dx.doi.org/10.35812/CelluloseChemTechnol.2021.55.01>

[3] N. M. Nurazzi, M. R. M. Asyraf, S. Fatimah Athiyah és munkatársai: A review on mechanical performance of hybrid natural fiber polymer composites for structural applications. Polymers 13(13), 2170 [2021], <https://doi.org/10.3390/polym13132170>

[4] Latifah Jasmani, Z.M.A. Ainun, Sharmiza Adnan, Rushdan Ibrahim, S.M. Sapuan, R.A. Ilyas: Sustainable paper-based packaging. In: S.M. Sapuan, R.A. Ilyas (eds.): Bio-based Packaging: Material, Environmental and Economic Aspects. John Wiley & Sons, 2021. 225-244., <https://doi.org/10.1002/9781119381228.ch13>

[5] Mirian Sayuri Vaccari, Paola Sassi: Environmental assessment of cardboard as a building material. In: Andreas Falk, Petr Vegh, John Chilton (eds.): Proceedings of the IASS Working Groups 12+18 International Colloquium 2015 „Bio-based and Bio-inspired Environmentally Compatible Structures”, Tokió, 2015.04.10-13., <https://www.researchgate.net/publication/332119762>

[6] Julio Diarte, Marcus Shaffer: Cardboard architecture: Eight decades of exploration in academic research and professional practice 1940-2019. Enquiry The ARCC Journal for Architectural Research 18(1) [2021], <https://doi.org/10.17831/enqarcc.v18i1.1103>

[7] Eekhout Mick, Verheijen Fons, Visser Ronald (eds): Cardboard in Architecture. Research in architectural engineering series. Delft University Press, 2008, <https://www.iospress.com/catalog/books/cardboard-in-architecture>

[8] Srikanth Venkatesan, Mahzabin Afroz, Satheeskumar Navaratnam, Rebecca Gravina: Circular-economy-based approach to utilizing cardboard

in sustainable building construction. *Buildings* 13(1), 181 (2023), <https://doi.org/10.3390/buildings13010181>

[9] **Andrew Cripps**: Cardboard as a construction material: a case study. *Building Research & Information* 32(3) 207–219, (2004), <https://doi.org/10.1080/09613210410001686273>

[10] **B. Bahrami, P. Jafari**: Paper recycling, directions to sustainable landscape. *International Journal of Environmental Science and Technology* 17, 371–382 (2020), <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02354-y>

[11] **L. C. Bank, T. D. Gerhardt**: Paperboard tubes in structural and construction engineering. In: K. A. Harries, B. Sharma (eds.): *Nonconventional and Vernacular Construction Materials: Characterisation, Properties and Applications*. Woodhead Publishing, 2016, 453–480, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100038-0.00016-0>

[12] **Jerzy F. Latka**: Paper in architecture: Research by design, engineering and prototyping. *Architecture and the Built Environment* 7(19), (2017), <https://doi.org/10.7480/abe.2017.19.1875>

[13] **Julija Naskova**: Shigeru Ban's Japanese traditions inspired humanitarian architecture: And its sustainable practices. *Asian Design Engineering Workshop*, Hong Kong, 2015, <https://www.researchgate.net/publication/284030197>

[14] **Julia Lübke, Marius Wettlaufer, Nihat Kiziltoprak, Michael Drass, Jens Schneider, Ulrich Knaack**: Honeycomb-paperboard glass composite beams. *Ce/papers* 2, 57–69 (2018), <https://doi.org/10.1002/cepa.910>

[15] **Agata Jasiolek, Jerzy Latka, Marcin Brzezicki**: Comparative analysis of paper-based building envelopes for semi-permanent architecture. Original proposals and suggestions for designers. *Journal of Facade Design and Engineering* 9(2), 47–72 (2021), <https://doi.org/10.7480/jfde.2021.2.5510>

[16] **Özlem Ayan**: Cardboard in architectural technology and structural engineering: A conceptual approach to cardboard buildings in architecture. *Doktori értekezés*, ETH Zürich, 2009, <https://doi.org/10.3929/ethz-a-006080626>

[17] **Dianne van der Reyden**: Technology and treatment of a folding screen: Comparison of oriental and western techniques. In: H. Mabuchi, Perry Smith (eds.): *Conservation of Far Eastern Art*, Abstracts of the Contributions tot he Kyoto Congress 19–23 September 1988, 64–68. <https://repository.si.edu/handle/10088/11187>

[18] **Jerzy F. Latka, Agata Jasiolek, Anna Karolak, Pawel Niewiadomski és munkatársai**: Properties of paper-based products as a building material in architecture – An interdisciplinary review. *Journal of Building Engineering* 50, 104135, <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.104135>

[19] **Shigeru Ban Architects**: Paper House, <https://shigerubanarchitects.com/works/paper-tubes/paper-house/>

[20] **Shigeru Ban Architects**: Japan Pavilion Expo 2000, <https://shigerubanarchitects.com/works/exhibitions/japan-pavilion-expo-2000/>

[21] **Cristobal Correa**: Designing with paper tubes. *Structural Engineering International* 14 (2004) 277–281, <https://doi.org/10.2749/101686604777963496>

[22] **Basim Abu-Jdayil, Abdel-Hamid Mourad, Waseem Hittini, Muzamil Hassan, Suhaib Hameedi**: Traditional, state-of-the-art and renewable thermal building insulation materials: An overview. *Construction and Building Materials* 214, 709–735 (2019), <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.102>

[23] **Andreas M. Faul**: Quality requirements in graphic paper recycling. *Cellulose Chemistry and Technology* 44(10), 451–460 (2010), [https://www.cellulosechemtechnol.ro/pdf/CCT10\(2010\)/p.451-460.pdf](https://www.cellulosechemtechnol.ro/pdf/CCT10(2010)/p.451-460.pdf)

[24] **Marina Vukoje, Mirela Rožić**: Various valorisation routes of paper intended for recycling – A review. *Cellulose Chemistry and Technology* 52(7–8), 515–541 (2018),

[https://www.cellulosechemtechnol.ro/pdf/CCT7-8\(2018\)/p.515-541.pdf](https://www.cellulosechemtechnol.ro/pdf/CCT7-8(2018)/p.515-541.pdf)

[25] **Kép forrása**: https://www.thermoflockereskedes.hu/sites/default/files/thermofloc_szigeteles_1600x1600.jpg

[26] **Pablo Lopez Hurtado, Antoine Rouilly, Virginie Vandenbossche, Christine Raynaud**: A review on the properties of cellulose fibre insulation. *Building and Environment* 96, 170–177 (2016), <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.09.031>

[27] **Bozsaky Dávid**: Természetes hőszigetelő anyagok.

Magyar Építőipar 67. évf. [2017], 3–4. szám, 89–99. o., <https://www.researchgate.net/publication/322599871>

[28] **Willy Villasmil, Ludger J. Fischer, Jörg Worlitschek**: A review and evaluation of thermal insulation materials and methods for thermal energy storage systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 103, 71–84 (2019), <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.040>

[29] **Dileep Kumar, Morshed Alam, Patrick X. W. Zou, Jay G. Sanjayan, Rizwan Ahmed Memon**: Comparative analysis of building insulation material properties and performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 131, 110038 (2020), <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110038>

[30] **S. Sair, B. Mandili, M. Taqi, A. El Bouari**: Development of a new eco-friendly composite material based on gypsum reinforced with a mixture of cork fibre and cardboard waste for building thermal insulation. *Composites Communications* 16 (2019) 20–24, <https://doi.org/10.1016/j.coco.2019.08.010>

[31] **B. Mandili, M. Taqi, A. El Bouari, M. Errouaiti**: Experimental study of a new ecological building material for a thermal insulation based on waste paper and lime. *Construction and Building Materials* 228 (2019), 117097, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117097>

[32] **Jemi Merrin Mathews, B. Vivek, Meghana Charde**: Thermal insulation panels for buildings using recycled cardboard: Experimental characterization and optimum selection. *Energy and Buildings* 281 (2023), 112747, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112747>

[33] **P. Ricciardi, E. Belloni, F. Cotana**: Innovative panels with recycled materials: Thermal and acoustic performance and Life Cycle Assessment. *Applied Energy* 134 (2014) 150–162, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.07.112>

[34] **Ansarullah, Ramli Rahim, Asniawaty Kusno, Baharuddin, Nurul Jamala**: Utilization of waste of chicken feathers and waste of cardboard as the material of acoustic panel maker. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 126, Friendly City 4 'From Research to Implementation For Better Sustainability' 11–12 October 2017, Medan, Indonesia, ID: 012036, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/126/1/012036>

[35] **F. Asdrubali, A. L. Pisello, F. D'Alessandro, F. Bianchi, M. Cornicchia, C. Fabiani**: Innovative cardboard based panels with recycled materials from the packaging industry: Thermal and acoustic performance analysis. *Energy Procedia* 78 (2015), 321–326, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.652>