



MAGYAR ÉPÍTŐIPAR

HUNGARIAN BUILDING INDUSTRY

LXXI. | 2022.3.



A Szerk. TISZTELT OLVASÓNK!



Horváth Tamás PhD
főszerkesztő

Szeretném figyelmébe ajánlani a Magyar Építőipar folyóirat immáron harmadik digitális lapszámát, melyet a <https://magyarepitoipar.com/> címen talál meg. Számunk törzsét ismét tudományos igényességű publikációk adják, melyekben közös vonásként jelenik meg az *életciklus szemlélet*. A tematikusnak tűnő szám szinte véletlenül alakult ki a szerkesztőséghez beérkezett cikkek közül. Mindez jól mutatja a téma időszerűségét, hogy szerzőink tevékenyen kutatják az építési tevékenység környezeti hatásait.

Első cikkünk az építmények bontásához tervezett összedőlés jellegzetességeit vizsgálja fizikai alapokon. A második a főként villamos pályák esetén alkalmazott kiöntött síncsatornás pályaszerkezetek ökológiai lábnyomszámítását taglalja. A következő cikk az egyre nagyobb problémát jelentő textilhulladék esetleges építőipari hasznosítását elemzi, a szálal anyag hő- és hangszigeteléseként történő alkalmazásának céljával. Negyedik cikkünkben hőszigetelőanyagok jellemzőinek változásait vizsgálják a szerzők az életciklus használati szakaszában különböző hőmérsékleti és nedvességviszonyok mellett. Majd két optikai műszertervező mérnök munkásságát mutatjuk be, akiknek számos, főként a geodéziai területén használt, szabadalmat és műszaki megoldást köszönhetünk. Az 50 éve írtuk rovatban egy hazánkban akkor és ma is kuriózumnak számító, acélszerkezetes, tízzintes irodaház keletkezésének körülményeit elevenítjük fel, kitekintéssel az épület jelenlegi állapotára és a hazai acélszerkezetes építés lehetőségeire.

A címlapra választott képre a textilhulladék újrahasznosításával foglalkozó cikkünk hívta fel a figyelmet. Úgy vélem, hogy a kép nem csak a textil anyag körforgásos alkalmazásának fontosságát hangsúlyozza, de a Magyar Építőipar címlapján arra is utal, hogy az építőipar környezeti hatásainak mérséklése érdekében paradigmaváltásra van szükség: meg kell teremteni a lehetőséget a könnyen biztosítható minőségű nyersanyagok kiváltására, kevésbé biztos minőségű, újrahasznosított anyagokkal.

Bízom benne, hogy Ön is talál érdekes olvasnivalót legújabb online számunkban, és hogy a jövőben is honlapunk látogatója lesz sok más olvasóval együtt.



Magyar Építőipar | Hungarian Building Industry

Főszerkesztő: **Horváth Tamás PhD** – SZE, Győr

A szerkesztőbizottság elnöke: **prof. dr. Becker Gábor** – BME, Budapest

A szerkesztőbizottság tagjai:

Bozsaky Dávid habil PhD – SZE, Győr; **prof. Kiss Rita**, az MTA levelező tagja – BME, Budapest;

Molnár Tamás habil DLA – PTE, Pécs; **Stocker György habil DLA** – BME, Budapest;

Szabó Péter PhD – SE, Sopron; **Tóth Balázs** – ÉMI, Szentendre; **Vizi Gergely PhD** – ÓE, Budapest;

Völgyi István PhD – BME, Budapest

Index: 25,553 HU ISSN 0025-0074

A folyóirat lektorált cikkeket tartalmaz. Megjelenik évente hat alkalommal.

Szerkesztőség: 1095 Budapest, Mester utca 87. Tel./fax: 06 1 201-8416,

e-mail: info@epitokiado.hu, internet: www.magyarepitoiparkiado.hu

Kiadja: ÉTÉ Szakértő és Magyar Építőipar Kiadó Szolgáltató és Kiadói Kft.

Felelős kiadó: Dévai Zoltán | Kiadványszerkesztés: Horváth Tamás PhD

Címlap: Életkép a Textrade textilújrahasznosító üzemből. Illusztráció Mengyán Eszter

„Hova kerül a használt ruha a gyűjtő konténerből? Textilújrahasznosítóban jártunk” című cikkéhez.

A fotó forrása és tulajdonosa a korforras.hu webhely.

2022.3. TARTALOM | CONTENTS

- BEVEZETŐ**
109 Horváth Tamás PhD
A Szerk. Tisztelt Olvasónk!
The Editor. Dear Reader!
- TUDOMÁNY**
111 Fenyő Csillag, Mosoni Aliz Lea, Várkonyi Péter László
Kis elemekből épült tornyok összedőlésének elméleti és kísérleti vizsgálata
Theoretical and experimental investigation of the collapse of towers built from small elements
- MÉRNÖKI**
117 Major Zoltán, Horváth Róbert, Szennay Áron, Szigeti Cecília
Kiöntött síncsatornás pályaszerkezetek ökológiai lábnyomának vizsgálata
Investigation of the ecological footprint of embedded rail structures
- ZÖLD/ENERGIA**
123 Kudronné Berta Eszter, dr. Kemes Balázs, dr. Nagy Balázs, Nagy Attila Balázs, dr. Perlakiné dr. Patkó Csilla
A textilhulladék hasznosítási lehetőségei az építőiparban
Textile waste utilization possibilities in the construction industry
- MINŐSÉG**
129 Bedő Mózes Norbert, Bozsaky Dávid, Pollák András
Hőszigetelő anyagok összehasonlító vizsgálata különböző hőmérsékleti és nedvességviszonyok mellett
Comparative tests on the change of material properties of thermal insulation materials under different environmental conditions
- ELFELEDETT**
136 dr. Antal Ákos
In memoriam Kisfalusi Gábor és dr. Lisziewicz Antal műszertervezők
In memoriam Gábor Kisfalusi and dr. Antal Lisziewicz instrument designers
- 50 ÉVE ÍRTUK**
142 Pintér Józsefné
Acélszerkezetű tízsztintes irodaház
Ten-storey office building with steel structure
- 146** Badik-Szabó Dániel
Kommentár Pintér Józsefné „Acélszerkezetű tízsztintes irodaház” című, 50 éve megjelent cikkéhez
Commentary on the 50 years ago published article of Pintér Józsefné “Ten-storey office building with steel structure”

Fenyő Csillag¹, Mosoni Aliz Lea², Várkonyi Péter László³

KIS ELEMÉKBŐL ÉPÜLT TORNYOK ÖSSZEDŐLÉSÉNEK ELMÉLETI ÉS KÍSÉRLETI VIZSGÁLATA

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF
THE COLLAPSE OF TOWERS BUILT FROM SMALL ELEMENTS

KIVONAT / HUN

Fontos mérnöki probléma magas épületek bontásánál azon védőtávolság meghatározása, amelyen belül veszélyes tartózkodni a lezuhanó elemek miatt. Kutatásunk során kísérleteket végeztünk fa elemekből összeállított különböző szerkezetű tornyokkal, és rögzítettük a legtávolabbra eső elem helyét. A kísérletek mellett egy általánosan alkalmazható fizikai modellt is kidolgoztunk a fenti távolság becslésére, melynek során figyelembe vettük, hogy nagy sebességű ütközéseknél az energia nagyobb hányada nyelődik el. Modellünk segítségével magyarázatot találtunk arra, hogy a biztonsági távolság miért nem egyenesen arányos a torony magasságával. A munkánkban javasolt módszerrel akár valós épületbontásoknál is használható modellt lehet a jövőben kidolgozni.

Kulcsszavak: épületbontás, repeszhatás, biztonsági távolság, robbantás

ABSTRACT / ENG

Determining the safety distance within which it is dangerous to stay due to falling elements is an important engineering problem during the demolition of tall buildings. In our research, we conducted experiments by knocking down towers composed of wooden elements and recorded the location of the furthest one. We also developed a generally applicable physical model for predicting the aforementioned distance, taking into account a general observation that the ratio of the kinetic energy absorbed in a collision depends on impact velocity. Our model successfully explains why the safety distance is not directly proportional to the height of the tower. The method proposed in our work can be used to develop a model applicable to large-scale building demolition in the future.

Keywords: building demolition, debris dispersal, safety distance, implosion

ektorált tartalom

¹ építész mérnök (osztatlan) hallgató, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építész mérnöki Kar, e-mail: fenyocs@edu.bme.hu

² építész mérnök BSc hallgató, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építész mérnöki Kar, e-mail: alizlea.mosoni@edu.bme.hu

³ okl. építész mérnök, PhD, habil, MTA doktora, egyetemi tanár, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építész mérnöki Kar, Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék, e-mail: varkonyi.peter@epk.bme.hu

1. | BEVEZETÉS

Diákok és mérnökhallgatók körében népszerű csapatprojekt fa építőkockákból nagyméretű tornyokat építeni. A Guinness rekordok könyve szerint a legmagasabb ilyen torony rekordját 2021 óta egy francia fiatalokból álló csapat tartja egy közel 19 méter magas alkotással [1]. Az építés leglátványosabb, és nagy közönséget vonzó fázisa az elkészült torony ledöntése. Ezzel kapcsolatban megfigyelték, hogy a leeső elemek meglepően kicsiny távolságra jutnak el, így a nézők számára kijelölendő biztonsági távolság viszonylag kicsiny lehet [2].

Dolgozatunk készítésének kiinduló motivációja, hogy a biztonsági távolság kérdése az iparban is fontos szerepet kap. A leeső tárgyak által okozott veszély kérdésével elsősorban robbantásos épületbontások, illetve sziklaomlások kapcsán foglalkoznak [3]. Egyéb bontási technikákra vonatkozóan az ipari előírások nem tartalmaznak részletes útmutatást a szükséges biztonsági távolságra nézve.

A biztonsági zóna a robbantások biztonsági kérdéseiről szóló 27/2022. (I. 31.) SzTFH rendelet alapján az a robbantás helyétől mért távolság, amelyen túl a robbantásnak a környezetre, személyekre gyakorolt hatása veszélytelen. Egy épület kontrollált ledöntése során a poron, mérgező gázokon, töltet ellátásokon, szeizmikus hatásokon, és léglökéseken kívül repeszhatás is jelentkezik, melyet szintén figyelembe kell venni a biztonsági zóna kijelölésekor. Az ipari gyakorlatban azonban a tapasztalati úton meghatározott távolságok csupán a robbanótöltet nagyságát veszik figyelembe, az épület magasságát, szerkezetét nem.

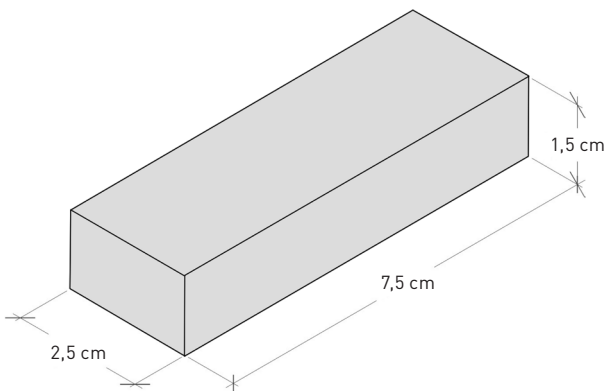
A tudományos irodalomban néhány helyen foglalkoznak a repeszhatás vizsgálatával. Van der Voort és Weerheijm [4] tanulmányukban statisztikai megközelítést alkalmaznak a repeszhatás okozta veszély becslésére, melyet a repeszdarabok kezdeti sebességének valószínűségi eloszlása alapján, különböző mérnöki modellekkel és mozgásegyenletekkel becsülnék meg. Jelen tanulmányhoz képest eltérő körülmény, hogy a kezdősebességeket a robbantások kísérleti vizsgálata alapján becsülnék meg, míg mi a leeső darabok ütközését modellezzük, és ebből vonunk le következtetéseket. Xu és társai [5] írása a pattanás modellezésével foglalkozik. Fókuszukban az

a megfigyelés áll, hogy puha felületről is visszapatthanhatnak a törmelékek, ha lapos a becsapódási szög, így a törmelék messzebbre jut. A tanulmány fő célja olyan empirikus formulák levezetése, amelyek képesek megjósolni a robbanásból származó betontörmelék talajfelületre történő becsapódási reakcióit adott beesési szög mellett. Knock és társainak [6] tanulmánya szintén az ütközésekre fókuszál; bemutatják, mi történik egy törmelék első találkozásakor a talajjal. A betongömböket és betonkockákat különböző sebességgel és beesési szögekkel beton, homok, víz és más különböző agyagok felületére lőtték ki. Az eredmények azt mutatták, hogy az ütközés utáni sebesség egyszerű empirikus képletek segítségével előre jelezhető, valamint, hogy a kockát gömbként lehet kezelni, és a becsapódó tárgyak két típusa különböztethető meg: az ütközés során szétaprózódók és az épen maradók.

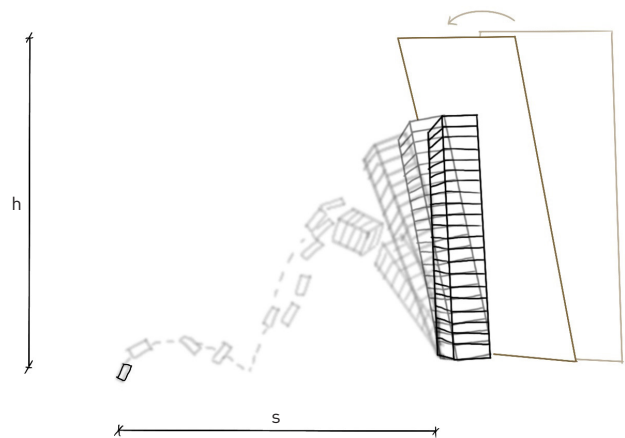
A visszapatthas és a lehulló elemek várható távolságának számítógépes szimulációkkal való vizsgálatába Leine és társai [7] írása ad betekintést. A dolgozat célja egy 3D-s szimulációs technika kidolgozása sziklaomlás modellezésére, amely figyelembe veszi a tömbök alakját, és felhasználja a nem sima kontakt dinamika legkorszerűbb módszereit. A kőtömböket tetszőlegesen konvex poliéderként modellezzük, a terepmodell pedig egy nagy felbontású digitális domborzati modellen alapul. A zuhanó kődarabok szimulációja rendkívül nagy kihívást jelent, mivel a mozgás során különböző mozgásformák lehetségesek: szabadesés, csúszás, gördülés, gurulás és pattogás, csúszással vagy megakadással. A kifutási távolságot, az oldalirányú terjedést és a pattanások magasságát erősen befolyásolja a szikladarab alakja, valamint a tereppel és más akadályokkal, például fákkal való kölcsönhatás.

Kawai és társai [8] tanulmányukban rámutatnak az egyszerre mozgó kőtömbök közötti kölcsönhatás szerepére. Az általuk végzett kutatásban a kísérletek célja az volt, hogy feltárják azokat a domináns tényezőket, amelyek befolyásolják a maximális megtett távolságot, amikor egy nagy törmelékhalmoz egy időben omlik le. A vizsgálati eredmények azt mutatták, hogy az egyes szemcsék alakjának és felületi simaságának hatása jelentős.

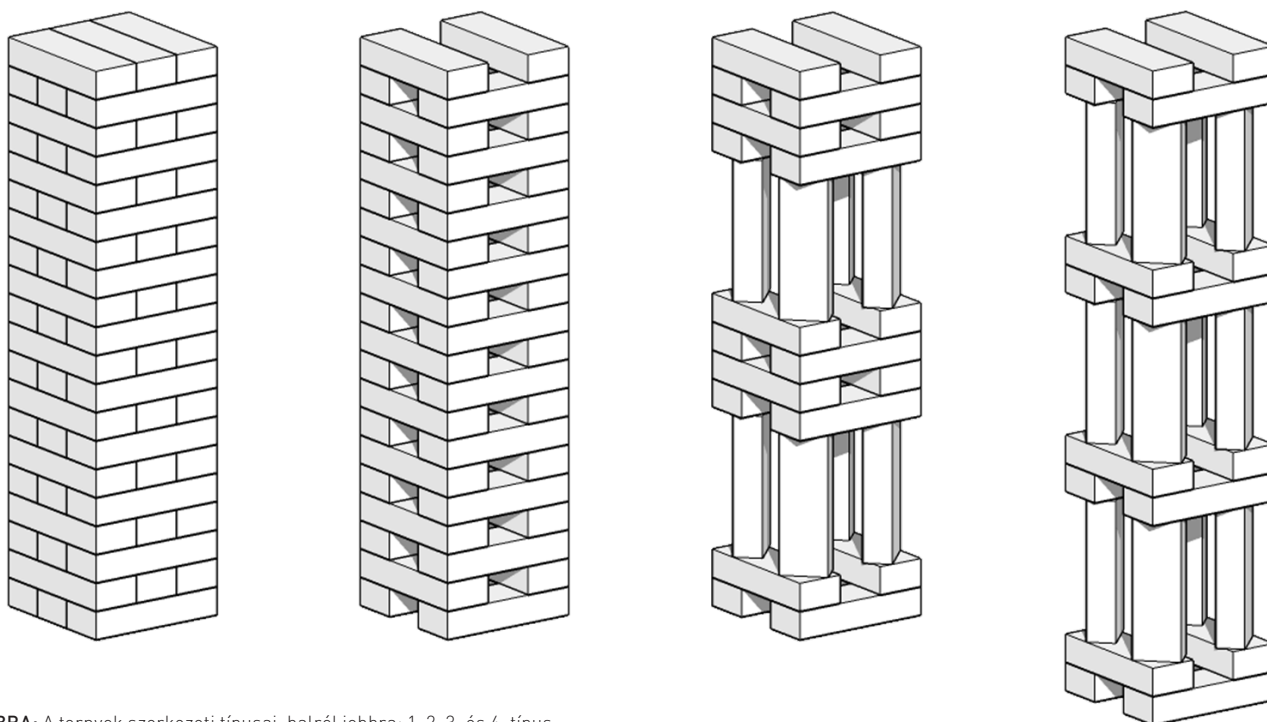
Hasonló témával foglalkozik Bundy [9] is, aki karcsú, eldőlt kémények viselkedését vizsgálta. Ebben a tanulmányban szilárdsági szemszögből közelíti meg a problémát, és arra a következtetésre jut, hogy az alacsony húzószilárdsággal



1. ÁBRA: A fa építőelem dimenziói



2. ÁBRA: A kísérletek kivitelezése nagy felületű lemezzel



3. ÁBRA: A tornyok szerkezeti típusai, balról jobbra: 1, 2, 3. és 4. típus

rendelkező, téglából épített kémények esetében egy bizonyos dőlésszögig a kémény egyben mozog. Utána viszont a húzott övben a határfeszültség elérése miatt a kémény alsó 30-50%-ában hasadás keletkezik, és a kémény több darabra esik szét. A mozgásnak ez a jellegzetessége érdekes számunkra, mert jelentősen befolyásolja az építmény elemei által megtett távolságot.

2. | A KÍSÉRLETI VIZSGÁLATOK ISMERTETÉSE

Az általunk vizsgált tornyok egyforma elemekből épültek föl: ezek 7,5×2,5×1,5 cm oldalhosszúságú fahasábok voltak (1. ábra). Egy ilyen elem tömege mintegy 11 g. Az önsúlyon kívül semmilyen függőleges irányú terhet nem helyeztünk a tornyokra. Ragasztóanyagot nem használtunk, kizárólag a gravitáció, és az egymással való súrlódás tartotta össze az elemeket. Az építést mindig vízszintes felületen hajtottuk végre, alátétet, hozzáadott kiegyenlítő réteget nem használtunk, csak a padlóra építkeztünk.

A kísérletek során egy nagy felületű lemezt a torony egyik oldalával párhuzamosan lassan közelítettünk az építményhez, a két felület érintkezésekor fokozatosan döntöttük a lemezt, majd a torony egyensúlyi pontjából való kibillenésének pillanatában hagytuk eldőlni azt (2. ábra). Ezután egy előre leterített mérőszalaggal meghatároztuk a legtávolabb leeső darab helyét, és ezt jegyzőkönyvbe vettük. A feljegyzett táv (s) a torony lábától a legtávolabb leeső elem közepéig mért hossz. Minden kísérletet 3-5 alkalommal végeztünk el, majd meghatároztuk az eredmények átlagát és szórását. A célunk elérése érdekében több különböző magasságú, illetve szerkezetű toronnyal kísérleteztünk. A szerkezeti típusokat a 3. ábra mutatja.

3. | A KÍSÉRLETEK EREDMÉNYEI

3.1. ELŐZETES FELTÉTELEZÉSEK

Már a kísérletezés előtt volt elképzelésünk arról, hogy milyen eredményeket várunk. Ezek egyrészt intuíción, másrészt pedig hasonló témában készült videókról tett megfigyeléseinken alapultak.

Az első pillanattól kezdve világos volt, hogy egy ilyen torony nem egyben dől el, hanem a borulás egy bizonyos pontja után szétesik, és az elemek sebességében jóval nagyobb lesz a függőleges komponens, mint a vízszintes. A tanulmány egyik alapvető kérdése az volt, hogy mekkora lehet a több méteres tornyok körül kijelölendő biztonsági zóna, mivel a korábbi ilyen jellegű kísérletekről készült videókban meglepően kicsi volt a magassághoz képest. Ez pedig arra enged következtetni, hogy a torony nem úgy dől el, mint egy merev test, hanem a dőlés egy viszonylag korai fázisában elemeire hullik.

Megérzéseink alapján azt is vártuk, hogy a ritkább, ugyanazon magasságú, de kevesebb elemből épülő torony veszélyzónája kisebb lesz, mint a tömörebb építményé.

A távolság – toronymagasság függvény, a továbbiakban: $s(h)$ grafikon, formájára több feltételezésünk volt. A legvalószínűbbnek valamilyen ellaposodó függvény tűnt, de a lineáris modellt sem zártuk ki.

3.2. A KÍSÉRLETEK EREDMÉNYEI

A kísérletek eredményeit táblázatok foglalják össze. Az 1-4. táblázat első három sora a négy szerkezeti típus mérési eredményei közül a különböző toronymagasságokhoz (h) kapcsolódóan mért távolságok (s) átlagát és szórását mutatja be. Az átlagértékek láthatóak a 4. ábra grafikonján is. Itt az

alsó indexben megjelenő számok a toronytípus sorszámával egyeznek meg (világoskék: 1. típus; zöld: 2. típus; szürke: 3. típus; barna: 4. típus). A betűk a különböző toronymagasságokat jelzik. A grafikonról első ránézésre leolvasható, hogy az s távolság növekedő függvénye a h toronymagasságnak, de a kapcsolat nem lineáris. Ezenkívül jelentős szerepe van a torony szerkezetének is.

1. TÁBLÁZAT: Az 1. szerkezeti típus mérési és modellillesztés eredményei

h : toronymagasság [m]	0,20	0,30	0,40	0,50
s : mérések átlaga [m]	0,65	1,26	1,43	1,75
s : mérések szórása [m]	0,02	0,08	0,10	0,10
α paraméter értéke	4,24			
s : modell jóslata [m]	0,86	1,16	1,44	1,70
eltérés a mérésektől [m]	0,21	-0,10	0,01	-0,05

2. TÁBLÁZAT: A 2. szerkezeti típus mérési és modellillesztés eredményei

h : toronymagasság [m]	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
s : mérések átlaga [m]	0,27	0,55	1,10	1,27	1,51
s : mérések szórása [m]	0,02	0,00	0,06	0,23	0,09
α paraméter értéke	3,69				
s : modell jóslata [m]	0,35	0,58	0,79	0,98	1,15
eltérés a mérésektől [m]	0,08	0,03	-0,31	-0,29	-0,36

3. TÁBLÁZAT: A 3. szerkezeti típus mérési és modellillesztés eredményei

h : toronymagasság [m]	0,30	0,40	0,52	0,68
s : mérések átlaga [m]	0,95	1,12	1,65	1,89
s : mérések szórása [m]	0,05	0,01	0,13	0,05
α paraméter értéke	2,87			
s : modell jóslata [m]	1,01	1,25	1,53	1,87
eltérés a mérésektől [m]	0,06	0,13	-0,12	-0,02

4. TÁBLÁZAT: A 4. szerkezeti típus mérési és modellillesztés eredményei

h : toronymagasság [m]	0,14	0,24	0,35	0,45	0,87	1,29
s : mérések átlaga [m]	0,25	0,42	0,82	0,97	1,28	1,37
s : mérések szórása [m]	0,07	0,02	0,06	0,14	0,08	0,13
α paraméter értéke	1,97					
s : modell jóslata [m]	0,30	0,46	0,60	0,73	1,20	1,61
eltérés a mérésektől [m]	0,05	0,04	-0,22	-0,24	-0,08	0,24

4. | A MODELL

Az alábbiakban olyan modellre teszünk javaslatot, mely az összedőlés fizikai folyamatának egyszerűsített képén alapul, és összhangban van a kísérleti eredményekkel.

Tegyük fel, hogy a torony elemei kezdősebesség nélkül esnek le. Vizsgáljunk most egy merev testet, amely h magasságból esik le 0 kezdősebességgel. A légellenállást elhanyagoljuk.

A földet érés (függőleges irányú) sebessége

$$v = \sqrt{2gh},$$

ahol g a gravitációs gyorsulás.

Ennek pillanatában a mozgási energia nagysága

$$E = mgh,$$

ahol m a darab tömege.

Az ütközés után a test mozgási energiája:

$$E_{után} = \frac{1}{2}mv_x^2 + \frac{1}{2}mv_y^2 + \frac{1}{2}\theta\omega^2,$$

ahol v_x és v_y a tömegközéppont ütközés utáni sebességének komponensei, ω a szögsebessége, θ a tehetetlenségi nyomatéka. A három tag a vízszintes és függőleges haladó mozgáshoz, illetve a forgó mozgáshoz tartozó energia.

Ez alapján elmondhatjuk, hogy az első ütközés során a test energiája négyfelé oszlik:

a = függőleges haladó mozgás energiája,

b = vízszintes haladó mozgás energiája,

c = forgó mozgás energiája,

d = energiaelnyelődés az ütközés során,

ahol $a + b + c + d = 1$.

A biztonság javára való közelítésképp feltételezzük,

hogy $c = d = 0$, azaz $b = 1 - a$.

Részletesen kifejtve:

$$\frac{1}{2}mv_y^2 = amgh \quad \text{és} \quad \frac{1}{2}mv_x^2 = (1 - a)mgh,$$

amelyből az ütközés utáni sebességkomponensek:

$$v_x = \sqrt{2(1 - a)gh} \quad \text{és} \quad v_y = \sqrt{2agh}.$$

A szabadesés kinematikai összefüggései alapján a test a második ütközésig

$$t = \frac{2v_y}{g} = \frac{2\sqrt{2agh}}{g}$$

időt tölt a levegőben, és ezalatt

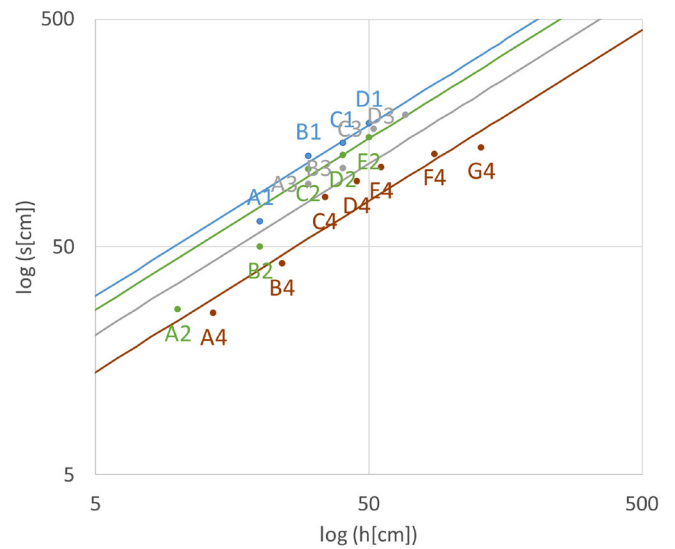
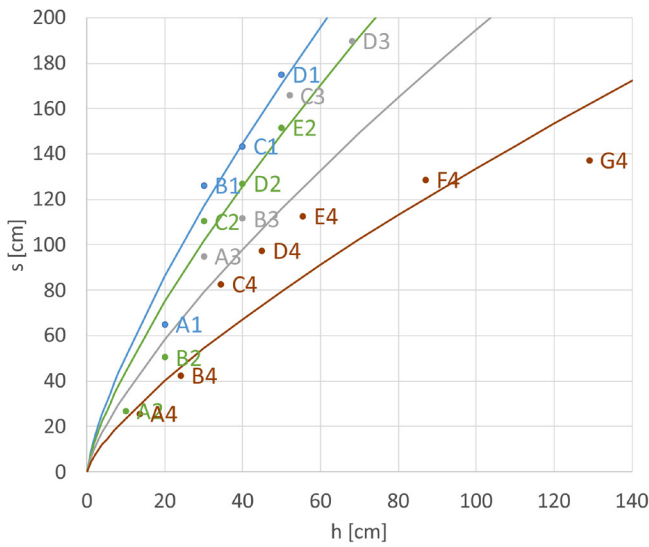
$$s = v_x t = \sqrt{2(1 - a)gh} \times \frac{2\sqrt{2agh}}{g} = 4h\sqrt{a(1 - a)}$$

vízszintes távolságra jut.

Az eredmény függ a -tól, és akkor a legnagyobb, ha $a = 1/2$, amely esetben:

$$s = 4h \sqrt{\frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{2}\right)} = 4h \sqrt{\frac{1}{4}} = 2h.$$

A gyakorlati megfigyelések azt mutatják, hogy az első pattanás során megtett távolság lényegesen nagyobb a többi pattanás hatásánál. Így a fent kapott s értéket használjuk a legnagyobb megtett távolság becslésére. Ez a modell azt jó-



4. ÁBRA: A kísérleti eredmények átlaga (pontok) és a javasolt modell jóslatai (folytonos görbék) lineáris és log-log koordináta-rendszerben ábrázolva

solja, hogy a távolság egyenesen arányos h -val. Mivel azonban fenti eredmény lényegesen eltér a kísérlet eredményeitől, a modellt pontosítani szükséges.

Elsőként bevezetünk egy α szorzótényezőt is, mellyel módosítjuk a kapott s távolságokat. Ez a tényező a modell által elhanyagolt hatásokat, például a többi pattanás hatását veszi figyelembe durva közelítésként.

Másodikként figyelembe vesszük az ütközés során fellépő energiaelnyelődés hatását. Thornton [10] tanulmánya megvizsgálja különböző ütköző tárgyak esetén az energiaelnyelődés függését a becsapódás sebességétől. Méréseik során az e ütközési számot mérik, melyet az ütközés utáni és az ütközés előtti sebesség nagyságának hányadosaként definiálnak:

$$e = \frac{v_{\text{kimenő}}}{v_{\text{beesési}}}$$

Eredményeik alapján kis sebességek esetén az $e = 1$ (azaz 0 energiaelnyelődés) jó közelítést jelent, nagy sebességek esetén pedig az ütközési szám értéke jó közelítéssel

$$e = \sqrt[4]{\frac{p}{v_{\text{beesési}}}}$$

ahol p egy, a becsapódó tárgy méretétől és anyagi tulajdonságoktól függő, sebesség dimenziójú, empirikusan meghatározható konstans érték. A modellünkben az egyszerűség kedvéért azt feltételeztük, hogy

$$e = \min\left(1, \sqrt[4]{\frac{p}{v_{\text{beesési}}}}\right)$$

Mivel a mozgási energia a sebesség négyzetével arányos, az e ütközési szám értékéből megbecsülhetjük az ütközés során megmaradó d energiahányad értékét:

$$1 - d = e^2 = \min\left(1, \sqrt{\frac{p}{v_{\text{beesési}}}}\right)$$

Ennek az energiamegmaradásnak a hatása megegyezik azzal, mintha azzal arányosan csökkentett h^* magasságból ejtenénk le az elemet:

$$h^* = h \cdot \min\left(1, \sqrt{\frac{p}{v_{\text{beesési}}}}\right)$$

A javasolt módosításokat modellbe bevezetve a legnagyobb s távolságra kapott becslés

$$s \leq 2h \cdot \min\left(1, \sqrt{\frac{p}{2gh}}\right) \cdot \alpha,$$

ahol az α korrekciós tényező és a p paraméter is empirikusan meghatározható ismeretlen modellparaméterek.

5. | A MODELLPARAMÉTEREK BECSLÉSE A KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK ALAPJÁN

Az elvégzett kísérletek segítségével megbecsülhető a modellben szereplő p és α érték. A modell képletét megvizsgálva megállapíthatjuk, hogy s értékére a p paraméter csak egy küszöbértéket meghaladó h magasságok esetén van hatása, ahol a modell képletében szereplő $\min(\dots)$ tag 1-nél kisebb lesz és az $s(h)$ függvény nemlineáris. Kis magasságok esetén p -nek nincs hatása, és az $s(h)$ függvény lineáris. A négy toronytípus közül a 4. típus mérési eredményei térnek el legjobban a lineáristól, ezért ezek a legalkalmasabbak a p paraméter becslésére. Elsőnek a két ismeretlen paramétert a 4. típus kísérleti eredményeiből határoztuk meg az Excel szoftver Solver optimalizáló algoritmusával, amely során az alábbi hibafüggvényt minimalizáltuk:

$$H(\alpha, p) = \sum_i \left(s_i - 2\alpha h_i \cdot \min\left(1, \sqrt{\frac{p}{2gh_i}}\right) \right)^2$$

A képletben s_i az egyes toronymagasságoknál mért leesési távolságok átlaga, h_i pedig a torony magassága.

A kapott p paraméter a becsapódó tárgy méretétől és anyagi tulajdonságaitól függ, ezért a fenti optimalizálással kapott

p értéket használtuk minden toronytípusnál. Esetünkben ez az érték $p = 0,51$ m/s. A második körben α értékét határoztuk meg a másik három toronytípus kísérleti eredményeiből, rögzített p mellett, a fenti hibafüggvény ismételt minimalizálásával. Megfigyelésünk az, hogy az α értéke a tömörség függvényében növekszik. A modell által jósolt távolságokat az **1-3. táblázat** és **4. ábra** mutatja.

6. | KONKLÚZIÓ

A kísérleteinkből azt a következtetést vontuk le, hogy az épület magassága (h) és a legtávolabb leeső elemnek az eredeti toronytól való távolsága (s) közötti összefüggés nemlineáris, ellaposodó függvénnyel írható le. Elméleti megfontolások alapján javaslatot tettünk a függvény pontos típusára, és a modell paramétereit az általunk végzett kísérletekre illesztettük. A kapott függvény egyik jellegzetessége, hogy létezik egy kritikus épületmagasság, amelynél az épület magassága és a leeső elem távolsága, avagy a biztonsági zóna sugara megegyezik, ezen ponton túl a sugár kisebb lesz az épület magasságánál ($s < h$).

Ezen megfigyelés egyik oka az lehet, hogy az eldőlé torony egy bizonyos kicsiny dőlési szögig tartotta meg eredeti szerkezetét, utána szétesett, és az egyes elemek pattogó mozgása szabta meg a legtávolabb eső elem kezdőponttól való távolságát. A másik ok az ütközések során bekövetkező energiaelnyelődés sebességfüggő volta.

Napjaink építőipari gyakorlatában, többek között épületbontások és robbantások alkalmával nincsen fizikailag alátámasztott, és általánosan alkalmazott képlet a biztonsági zóna sugarának meghatározására. A szemléltetett kísérleti eredményeink, valamint az ezek segítségével kidolgozott modell az építőipari gyakorlatban is hasznosíthatóak, ezzel elősegítve a biztonságos munkavégzést. Mivel a modell

paraméterei nagyban függhetnek az ütköző testek anyagától és méretétől, illetve a torony szerkezetétől, ezért a dolgozatban kapott számértékek nem alkalmazhatóak egy az egyben valós építőipari problémákra. Ugyanakkor a dolgozatban alkalmazott módszertan, mely kísérleti méréseken és a modell empirikus illesztésén alapul, alkalmazható ipari körülmények között is.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **Guinness World Records:** Tallest tower made from wooden toy blocks, <https://www.guinnessworldrecords.com/world-records/95179-tallest-tower-made-from-wooden-toy-blocks> (2023. március 16.)
- [2] **KEVA planks:** The KEVA planks world record tower, <https://www.kevaplanks.com/world-record> (2023. március 16.)
- [3] **Nemes József:** Kivonat a robbantási technológiai előírás elemeiből II. (Szeizmikus biztonsági távolságok), Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, 2008, p. 27.
- [4] **Martijn M. van der Voort, Jaap Weerheijm:** A statistical description of explosion produced debris dispersion, *International Journal of Impact Engineering*, vol. 59 (2013), pp. 29-37, <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2013.03.002>
- [5] **Jin Xu, C. K. Lee, Sau Cheong Fan, Kok Wei Kang:** A study on the ricochet of concrete debris on sand, *International Journal of Impact Engineering*, vol. 65 (2014), pp. 56-68, <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2013.11.003>
- [6] **Clare Knock, Ian Horsfall, Steve M. Champion, I. C. Harrod:** The bounce and roll of masonry debris, *International Journal of Impact Engineering*, vol. 30 (2004), no. 1, pp. 1-16, [https://doi.org/10.1016/S0734-743X\(03\)00057-5](https://doi.org/10.1016/S0734-743X(03)00057-5)
- [7] **Remco I. Leine, Andreas Schweizer, Marc Christen, James Glover, Perry Bartelt, Werner Gerber:** Simulation of rockfall trajectories with consideration of rock shape, *Multibody System Dynamics*, vol. 32 (2014), no. 2, pp. 241-271, <https://doi.org/10.1007/s11044-013-9393-4>
- [8] **Tadashi Kawai, Hitoshi Nakase, Shuji Moriguchi:** Influence of particle shape of falling rock-mass on the maximum travel distance, *Transactions of the 25th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology*, Charlotte, NC, USA, August 4-9, 2019. https://repository.lib.ncsu.edu/bitstream/handle/1840.20/37689/IV_1023_Tadashi_KAWAI.pdf
- [9] **Francis P. Bundy:** Stresses in freely falling chimneys and columns. *Journal of Applied Physics*, vol. 11 (1940), no.2, pp. 112-123. <https://doi.org/10.1063/1.1712742>
- [10] **Claire Thornton:** Coefficient of restitution for collinear collisions of elastic-perfectly plastic spheres, *Journal of Applied Mechanics*, vol. 64 (1997), no. 2, pp. 383-386, <https://doi.org/10.1115/1.2787319>

Major Zoltán¹, Horváth Róbert², Szennay Áron³, Szigeti Cecília⁴

KIÖNTÖTT SÍNCSATORNÁS PÁLYASZERKEZETEK ÖKOLÓGIAI LÁBNYOMÁNAK VIZSGÁLATA

INVESTIGATION OF THE ECOLOGICAL FOOTPRINT OF EMBEDDED RAIL STRUCTURES

KIVONAT / HUN

A hazai városokban a közelmúltban nagyvolumenű villamos beruházások zajlottak le, illetve állnak tervezés alatt. A projektek többsége meglévő vonalszakaszok korszerűsítéséről szólt, de új nyomvonalak építésére is találunk példát. Az újabb fejlesztések esetén hazánkban is egyre nagyobb teret hódítanak a kiöntött síncsatornás felépítmények. Cikkünkben bemutatjuk az előregyártott vasbetonlemezben kialakított kiöntött síncsatornás pályaszerkezetek ökológiai lábnyom számítását, és javaslatokat fogalmazzunk meg a pályaszerkezetek környezettudatosabb kialakítására. Ez a megközelítés segíthet a klímacélok elérésében, valamint a gyártók, tervezők és kivitelezők számára is kiindulási alapot szolgáltatathat termékeik és szolgáltatásaik komplexebb vizsgálatához és azok környezettudatosabbá tételéhez.

Kulcsszavak: ökológiai lábnyom, közúti vasúti pályák, kivitelezési projektek, kiöntött síncsatornás pályaszerkezet, merevlemez pályák

ABSTRACT / ENG

In the Hungarian cities, large-scale investments have recently taken place or are being planned on urban railway networks. Most of them concerned the modernization of existing lines, but we can also find examples of construction of new tracks. Recently, embedded rail structures are gaining more space in Hungary as well. In this paper, we present the ecological footprint calculation of the track structures with embedded rails in prefabricated reinforced concrete slabs, and we formulate suggestions for a more environmentally conscious design of track structures. This approach can help to achieve both climate goals and could support manufacturers, designers and construction firms to examine their products and services more complexly and make them more environmentally conscious.

Keywords: ecological footprint, tram tracks, construction projects, embedded rail structures, slabtrack

¹ okleveles infrastruktúra-építőmérnök, gazdálkodási és tűzvédelmi szakmérnök, PhD, egyetemi adjunktus, Széchenyi István Egyetem, Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék, e-mail: majorz@sze.hu

² okleveles infrastruktúra-építőmérnök, ügyvezető, H - Planer Mérnökiroda Kft., e-mail: hplanerkft@gmail.com

³ okleveles közgazdász, PhD, tudományos munkatárs, Budapesti Gazdasági Egyetem, Budapest LAB, e-mail: szennay.aron@uni-bge.hu

⁴ mérnöktanár, PhD, habil., tudományos főmunkatárs, Budapesti Gazdasági Egyetem, CESIBUS, e-mail: szigeti.cecilia@uni-bge.hu

1. | BEVEZETÉS

A 21. század egyik legnagyobb kihívása a társadalom folyamatos fejlődésének fenntartása a környezet megóvása mellett, ezen belül is a kitűzött klímacélok teljesítése [1]. A globalizált, iparosodott világ megköveteli, hogy a városainkban, országainkban és országaink között fenntartsuk, illetve a folyamatosan változó igények mellett bővítsük, korszerűsítsük mind a személy, mind az áruszállítást. A közlekedéssel kapcsolatos aggályok a 2015-ben induló, az ENSZ 193 tagálama által aláírt Fenntartható Fejlődési Keretrendszer 2030 – Agenda 2030-ban szereplő 17 fenntartható fejlődési cél (sustainable development goal, SDG) közül öt (al)célhoz kapcsolódnak:

- 3.6. alcél, a közúti közlekedésbiztonsággal kapcsolatban;
- 7.3. alcél, az energiahatékonyságra vonatkozóan;
- 9.1. alcél, a fenntartható infrastruktúrára vonatkozóan;
- 11.2. alcél, a városok megközelítésével kapcsolatban;
- 12.c. alcél, a fosszilis tüzelőanyagok támogatásának racionalizálására vonatkozóan [2].

Ebben a tanulmányban elsődlegesen a 9.1. alcélra fókuszálunk. Az EU-ban fokozott figyelmet szentelnek a kötött-pályás szállítás és a közösségi közlekedés fejlesztésére az egyéni közlekedéssel szemben. Az ilyen fejlesztések egyik hazai példája a budapesti 1-es villamos vonalának bővítése **(1. és 2. ábra)**. A közlekedési hálózatok építése és üzemeltetése során jelentős a CO₂ kibocsátás, mely alatt nem a közlekedő járművek kibocsátását értjük. Az építés és üzemeltetés során a kibocsátást elsősorban a beépített anyagok előállítás, azok szállítása és beépítése generálja. Cikkünkben egy a nagyvárosok villamos vonal hálózatában gyakran előforduló úgynevezett kiöntött síncsatornás pályaszerkezet lehetséges két variánsát hasonlítjuk össze műszaki paraméterek és ökológiai lábnyom (ecological footprint, EF) tekintetében.



1. ÁBRA: Hosszgerendában kialakított kiöntött síncsatornás felépítmény mint „füves” vágány a budapesti 1-es villamos vonalán (SzÁ)

2. | AZ ALKALMAZOTT MÓDSZERTAN BEMUTATÁSA

A vizsgálat pályaszerkezetek ökológiai lábnyom számítását – a módszertan későbbi standardizálhatóságának szándékával – a pályaszerkezetet alkotó komponensek figyelembevételével, négy lépésben végeztük el. Elsőként meghatároztuk, a komponensekhez rendelt anyagféleségeket, illetve átszámítottuk azokat egy preferált természetes mértékegységre. Az átszámítás lehetővé teszi bonyolultabb szerkezetek esetén a különböző komponensekben felhasznált anyagok összeadhatóságát. Vagyis amennyiben több komponensben is előfordul betonacél, akkor azokat a tényleges számításban összegezve kezelhetjük. A második lépésben az anyagfelhasználást projektszinten összegezzük. A harmadik lépés opcionális – egyes tételek esetén a preferált mértékegység ugyan segíti az összegzést (pl. folyóméterben megadott adatok), de nem kompatibilis a beépített karbon adatokat tartalmazó adatbázisban szereplő mértékegységgel, így további mértékegység konverzióra lehet szükség. A negyedik lépés a tulajdonképpeni lábnyomszámítás, ahol a természetes mértékegységben kifejezett anyagféleségekhez hozzárendeljük a beépített karbon fajlagos mennyiségét, majd ez alapján meghatározzuk előbb az egyes anyagféleségek, majd a teljes projektbe beépített karbon mennyiségét. Az anyagféleségek fajlagos karbontartalmát az Inventory of Carbon and Energy (ICE) 3.0 változata (Embodied Carbon Footprint Database [3]) alapján vettük figyelembe, amely az anyagféleségek szűkebb körét tartalmazza, mint a korábbi verziók. Háttérszámításaink alapján az új és a régebbi adatbázissal számolt eredmények közötti eltérés a legtöbb anyagféleség esetén nem jelentős, az eredmények nagyságrendjét nem befolyásolja. A beépített karbon tömegének (tonna CO₂) Lin és szerzőtársai [2018] [4] alapján a Magyarországra vonatkozó egyenértékes felhasználásával váltottuk át ökológiai lábnyomra (globális hektár).

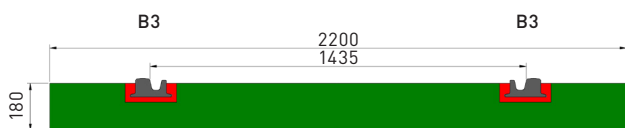


2. ÁBRA: Peron melletti pályakialakítás kiöntött síncsatornás felépítménnyel a budapesti 1-es villamos vonalán (SzÁ)

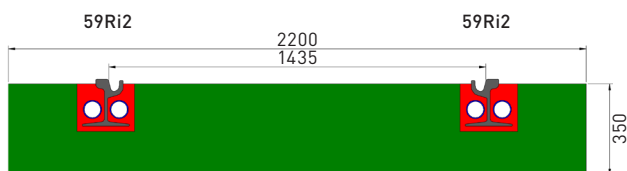
3. | A KÉT VILLAMOSVASÚTI PÁLYASZERKEZET MŰSZAKI SZEMPONTÚ ELEMZÉSE

Összehasonlító elemzésünk tárgyát az **3. és 4. ábrán** látható két felépítményszerkezeti kialakítás képezi. A bemutatott műszaki megoldások eleget tesznek a Budapesti Közlekedési Vállalat vonalhálózatára érvényben lévő előírásoknak. Műszaki szempontból egyenértékűnek tekinthetők, hiszen mindkét kialakítás azonos terhelésre méretezett és élettartamuk is megegyezőnek tekinthető, hiszen azonos kopásértékig tarthatóak a vizsgált sínszálak a pályában.

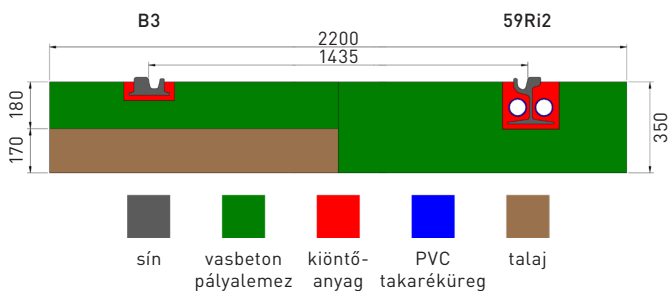
A két variáns jellemző különbségei az alkalmazott sínrendszer magasságából fakadnak, ennek megfelelően a B3 típusú tömbsínnel kialakított variáció gazdaságosabb szerkezetet eredményez. Az ábrán szürke színnel a sínszálakat, pirossal a kiöntőanyagot, kékkel a PVC takaréküregeket, míg zölddel a vasbeton pályalemezt jelenítettük meg. A takaréküregek beépítésére a kiöntőanyag mennyiségének csökkentése érdekében van szükség, így a pályaszerkezet bekerülési költsége csökkenthető. A pályalemez alatt feltételezzük, hogy mindkét esetben azonos műszaki paraméterű teherviselő rétegszerkezet épül be, így az 59Ri2-es sínnel kialakított pályaszerkezet esetén a lemez alsó síkja (tükörszint) 170 mm-rel mélyebbre kerül, ami többlet földmunkát igényel, ahogy azt az összehasonlító **5. ábra** is szemlélteti barna színezéssel.



3. ÁBRA: B3 sínnel történő kialakítás (anyagjelölés az 5. ábrán)



4. ÁBRA: 59Ri2 sínnel történő kialakítás (anyagjelölés az 5. ábrán)



5. ÁBRA: A két típusú pályaszerkezet összehasonlítása (mértékek mm-ben), bal oldalon: kialakítás B3 sínekkel, jobb oldalon: kialakítás 59Ri2 sínekkel

4. | A BEMUTATOTT MŰSZAKI MEGOLDÁSOKRA JELLEMZŐ CO₂ KIBOCSÁTÁS MEGHATÁROZÁSA

A 3. fejezetben bemutatott műszaki megoldások fő komponenseinek (pl.: kiöntőanyag) CO₂ kibocsátását két szempontból vizsgáljuk. Az első szempont a komponens anyagára jellemző úgynevezett saját kibocsátás, míg a második az anyag szállításából származó kibocsátás. A beépítésből származó CO₂ kibocsátással cikkünkben nem foglalkozunk, mivel annak technológiai lehetőségei szerteágazóak és a vizsgálandó variációk számát a terjedelmi korlátokon túl növelné. Az egyszerűsítés másik oka, hogy mivel összehasonlítást végzünk számunkra a két variánsra jellemző CO₂ kibocsátás különbsége az érdekes, melyben ez érdemi változást, azonos építési módot feltételezve, nem okozna. Mindazonáltal a módszertan alkalmas a technológiák közötti kibocsátás különbségének számszerűsítésére. Hasonló megfontolások alapján ugyancsak eltekintünk a pályalemez alatti teherviselő rétegszerkezet vizsgálatától. Elemzésünkben az üzemidő alatti teljes kibocsátást az egyes komponensek feltételezett élettartamának megfelelően fajlagosítjuk és kgCO₂/vágányméter/év dimenzióban adjuk meg (vágányméter a továbbiakban „vgm”).

4.1. A VIZSGÁLAT TÁRGYÁT KÉPEZŐ KOMPONENSEK BEÉPÍTETT CO₂ TARTALMA

Az összehasonlító elemzés elvégzéséhez az alábbi öt alponthoz megjelenő komponens vizsgáltuk részletesen. Az anyagokra jellemző fajlagos CO₂ kibocsátást egységesen az ICE 3.0 [3] alapján vettük figyelembe.

4.1.1. Síncél

A vizsgálat során elsőként meghatároztuk az 1 vágányméterre vonatkoztatott sínanyag tömegét mindkét vizsgálati esetre. Ennek értéke B3-as sín esetén 109,22 kg/vgm, míg 59Ri2-es sín esetén 116,28 kg/vgm. Az ICE 3.0 [3] alapján a CO₂ kibocsátás fajlagos értéke 1,27 kgCO₂/kg (szerkezeti acél). Ezt az értéket figyelembe véve a beépített síncélra jellemző CO₂ kibocsátás értéke 138,7 kg/vgm a B3-as sín esetén, míg 147,7 kg/vgm az 59Ri2-es sín esetén. Látható, hogy a két rendszer tekintetében a beépített acél anyagban és az abból eredő CO₂ kibocsátásban mintegy 6% különbség tapasztalható csupán.

4.1.2. Rugalmas kiöntőanyag

A rugalmas kiöntőanyag mennyiségének meghatározásakor feltételeztük, hogy az alkalmazott alóntési vastagság egységesen 20 mm. Ezt az értéket figyelembe véve az átlagos kiöntési geometriákhoz meghatároztuk a kiöntőanyag fajlagos térfogatát 1 vágányméterre. Az 59Ri2-es sín esetén 2 db 70 mm átmérőjű takaréküreg alkalmazását is figyelembe vettük. A fajlagos térfogat B3-as sín esetén 16,22 l/vgm, míg 59Ri2-es sín esetén 52,61 l/vgm. Mivel a rugalmas kiöntőanyagok esetén több gyártó különböző anyagai is műszakilag alkalmasak lehetnek a pályaszerkezetbe építésre, ezért a kiöntőanyag tekintetében egy átlagos 0,9 kg/l sűrűségértéket vettünk figyelembe. Az ez alapján számítható fajlagos tömeg értéke B3-as sín esetén 14,6 kg/vgm, míg 59Ri2-es

sín esetén 47,3 kg/vgm. Az ICE 3.0 [3] alapján a CO₂ kibocsátás fajlagos értéke 4,84 kgCO₂/kg (poliuretán rugalmas hab). Ezt az értéket figyelembe véve a beépített rugalmas kiöntőanyagra jellemző CO₂ kibocsátás értéke 70,7 kg/vgm a B3-as sín esetén, míg 229,2 kg/vgm az 59Ri2-es sín esetén. Látható, hogy a két rendszer tekintetében a beépített rugalmas kiöntő anyagban és az abból eredő CO₂ kibocsátásban jelentős, mintegy 224,2% különbség tapasztalható.

4.1.3. PVC takarékküreg

Az 59Ri2-es sínnel kialakított szerkezet esetén alkalmazott PVC csövek 70 mm névleges átmérőjűek és 2,2 mm falvastagságúak. Súlyuk 0,73 kg/m. A 4 db beépített cső tömege 1 vágányméterre vonatkoztatva 2,92 kg/vgm. Az ICE 3.0 [3] alapján a CO₂ kibocsátás fajlagos értéke 3,23 kgCO₂/kg (PVC cső). Ezt az értéket figyelembe véve a beépített PVC csőre jellemző CO₂ kibocsátás értéke 9,43 kg/vgm az 59Ri2-es sín esetén. A B3-as sínrel kialakított szerkezet esetén PVC csövek alkalmazására nincs lehetőség, így ott a CO₂ kibocsátás értéke 0,00 kg/vgm.

4.1.4. Pályalemez

A teherviselő pályalemez két alkotó részből áll, úgymint a beton és az annak megerősítésére szolgáló betonacélváz. Számításunkban jó közelítésként egységesen a pályalemez fajlagos térfogatának 3%-ával vettük figyelembe a betonacél mennyiségét. A pályalemez saját kibocsátásának számítása során annak geometriai méreteiből kiindulva először meghatároztuk annak fajlagos térfogatát. 2200 mm széles panel feltételezésével 180 mm vastag lemez és a B3-as sín esetén ennek értéke 0,396 m³/vgm, míg 350 mm vastag lemez és az 59Ri2-es sín esetén 0,770 m³/m. Számításunkban a síncsatornák figyelembevételétől a biztonság javára tett közelítésként eltekintettünk. A beton esetén 2500 kg/m³ sűrűséggel számoltunk, a térfogat 97%-os mértékével. Így a B3-as sín esetén a beton fajlagos tömege 0,96 t/vgm, míg 59Ri2-es sín esetén 1,87 t/vgm. Az ICE 3.0 [3] alapján a CO₂ kibocsátás fajlagos értéke 0,132 kgCO₂/kg (előregyártott beton burkolat). Ezt az értéket figyelembe véve a beépített beton anyagra jellemző CO₂ kibocsátás értéke 130,7 kg/vgm a B3-as sín esetén, míg 254,1 kg/vgm az 59Ri2-es sín esetén. A beépített betonacél tömege a korábbi egyszerűsítések mellett B3-as sín esetén 93,2 kg/vgm, míg 59Ri2-es sín esetén 181,3 kg/vgm. Az ICE 3.0 [3] alapján a CO₂ kibocsátás fajlagos értéke 1,99 kgCO₂/kg (betonacél). Ezt az értéket figyelembe véve a beépített beton anyagra jellemző CO₂ kibocsátás értéke 185,6 kg/vgm a B3-as sín esetén, míg 360,9 kg/vgm az 59Ri2-es sín esetén.

A teljes pályalemezre vonatkozó összesített érték 354,5 kg/vgm a B3-as sín esetén, míg 689,4 kg/vgm az 59Ri2-es sín esetén. Látható, hogy a két rendszer tekintetében a beépített anyagokból eredő CO₂ kibocsátásban jelentős, mintegy 94,5% különbség tapasztalható.

4.1.5. Talaj (többlet földmunka)

A talaj saját kibocsátásának számításánál a két pályalemez vastagság különbségéből adódó talajkitermelési többlettel számolunk csak, amely 59Ri2-es sín esetén 170 mm. Nem vesszük figyelembe a lemez alsó síkja alatti teherviselő rétegszerkezet megépítéséhez szükséges talajkitermelést. Az 59Ri2-es sín esetén 170 mm vastagság és 2200 mm szélesség figyelembevételével a többlet talajkitermelés szükséges mennyisége 0,374 m³/vgm. A talaj sűrűségét 2000 kg/m³ értékkel vettük figyelembe. A kitermelt talaj tömege 748 kg/vgm. Az ICE 3.0 [3] alapján a CO₂ kibocsátás fajlagos értéke 0,024 kgCO₂/kg (döngölt föld). Ez az érték igaz, hogy a beépítésre és tömörítésre vonatkozik, de egyéb adat hiányában a kitermelés esetén is ezzel számoltunk. Ezt az értéket figyelembe véve a CO₂ kibocsátás értéke 17,95 kg/vgm. A B3-as sín esetén 0 mm többlet vehető figyelembe, így a CO₂ kibocsátás értéke vágányméterenként 0,0 kg.

4.2. A VIZSGÁLAT TÁRGYÁT KÉPEZŐ KOMPONENSEK SZÁLLÍTÁSÁBÓL SZÁRMAZÓ CO₂ KIBOCSÁTÁS

Az egyes komponensek szállításából származó CO₂ érték meghatározásához a korábban meghatározott 1 vágányméterre eső fajlagos tömegeket és az **1. táblázatban** összefoglalt adatokat vettük figyelembe. A két kialakításra vonatkozó eredményeket a táblázat két utolsó oszlopa mutatja be. A szállítási távolságok esetén számításunk az alábbi hipotetikus megfontolásokon alapul, mely értékek egy valós vizsgálat esetén ismerve a logisztikai útvonalakat pontosíthatók lennének:

- azon termékek esetén, amelyeket nem hazánkban állítanak elő, 500 km szállítási távolságot vettünk figyelembe,
- azon termékek esetén, amelyeket hazánkban állítanak elő, 250 km szállítási távolságot vettünk figyelembe,
- a talaj esetén a forgalmas belvárosi környezetből kell a város szélén lévő depóniába elszállítani a kitermelt földet, mely jelentős kerülőket eredményezhet és nagyobb fajlagos CO₂ kibocsátást. Itt feltételezésünk alapján 50 km szállítási távolságot vettünk figyelembe.

1. TÁBLÁZAT: Az egyes komponensek szállítási adatai és a szállításból származó fajlagos CO₂ kibocsátás (adatforrások: * saját feltételezés, ** Treibhausgasemissionen durch die Schieneninfrastruktur und Schienenfahrzeuge in Deutschland [5])

komponens	szállítási távolság* [km]	szállítási mód*	fajlagos kibocsátás [gCO ₂ /tkm]**	B3-as sín [kgCO ₂ /vgm]	59Ri2-es sín [kgCO ₂ /vgm]
sín	500	vasút	26,7	1,458	1,552
kiöntőanyag	500	közút (szóló tkg., >26t)	199,3	1,455	4,718
PVC cső	250	közút (szóló tkg., >26t)	199,3	0,000	0,145
pályalemez	250	közút (szóló tkg., >26t)	199,3	47,847	93,036
talaj	50	közút (szóló tkg., >26t)	199,3	0,000	7,450

2. TÁBLÁZAT: A komponensek becsült élettartamával súlyozott CO₂ kibocsátás a B3-as sín alkalmazása esetén

komponens	anyag [kgCO ₂ /vgm]	szállítás [kgCO ₂ /vgm]	ΣCO ₂ [kgCO ₂ /vgm]	élettartam [év]	fajlagos érték [kgCO ₂ /vgm/év]
sín	138,7	1,458	140,158	15	9,344
kiöntőanyag	70,7	1,455	72,155	15	4,810
PVC cső	0	0	0	15	0,000
pályalemez	354,5	47,847	402,347	60	6,706
talaj	0	0	0	60	0,000
				Σ	20,860

3. TÁBLÁZAT: A komponensek becsült élettartamával súlyozott CO₂ kibocsátás az 59Ri2-es sín alkalmazása esetén

komponens	anyag [kgCO ₂ /vgm]	szállítás [kgCO ₂ /vgm]	ΣCO ₂ [kgCO ₂ /vgm]	élettartam [év]	fajlagos érték [kgCO ₂ /vgm/év]
sín	147,7	1,552	149,252	15	9,950
kiöntőanyag	229,2	4,718	233,918	15	15,595
PVC cső	9,43	0,145	9,575	15	0,638
pályalemez	689,4	93,036	782,436	60	13,041
talaj	17,95	7,450	25,4	60	0,423
				Σ	39,647

Ahogy a táblázat is mutatja, az előregyártott betonelemek méreteinek optimalizálásával a szükséges szállítási volumen jelentősen csökkenthető, mellyel arányosan a CO₂ kibocsátás is redukálható.

4.3 A VARIÁNSOKRA JELLEMZŐ EREDŐ CO₂ KIBOCSÁTÁS SZÁMÍTÁSA

A 4.1 és 4.2 pontokban szerkezetenként meghatározott értékeket az egyes komponensek becsült élettartamával súlyoztuk annak érdekében, hogy figyelembe tudjuk venni az élettartamra vetített fajlagos CO₂ kibocsátás értékét. Eredményeinket a **2. és 3. táblázat** foglalja össze. Az élettartamok becsült értéke saját feltételezésünk. Az eredmények alapján könnyen belátható, hogy azonos pályaszerkezeti típusok optimalizálása esetén lehetőség van a CO₂ kibocsátás jelentős csökkentésére a megfelelő felépítményi variáns kiválasztásával.

Ha a feltételezett pályaszerkezetek egy adott elemzési időszaka alatti teljes CO₂ kibocsátását szeretnénk vizsgálni azt az **4. táblázatban** bemutatott módon tehetjük meg. Vizsgálatunkban az elemzési időt célszerűen a 60 éves legnagyobb élettartammal vettük egyenlőnek. A kapott eredmények alapján az elemzési időre meghatározható az ökológiai lábnyom nagysága.

5. | A BEMUTATOTT MŰSZAKI MEGOLDÁSOK ÖKOLÓGIAI LÁBNYOMÁNAK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

A környezeti számvitel célja az emberi tevékenységek környezeti költségeinek azonosítása, mérése és allokációja. Az ökológiai lábnyom egy környezeti számviteli eszköz, amely a környezetterhelés mérésére általánosan alkalmas [6]. Sokoldalú alkalmazhatósága miatt a pénzhez hasonlóan szinte bármilyen közösség, folyamat vagy anyagfelhasználás kör-

4. TÁBLÁZAT: Az elemzési időszakra vonatkoztatott CO₂ kibocsátás a B3-as sín és az 59Ri2-es sín esetén

komponens	komponens élettartama [év]	elemzési idő (60 év) / komponens élet- tartam [ciklus]	B3-as sín ΣCO ₂ [kgCO ₂ /vgm]	B3-as sín CO ₂ kibocsátás [nΣCO ₂]	59Ri2-es sín ΣCO ₂ [kgCO ₂ /vgm]	59Ri2-es sín CO ₂ kibocsátás [nΣCO ₂]
sín	15	4	140,158	560,632	149,252	597,008
kiöntőanyag	15	4	72,155	288,620	233,918	935,672
PVC cső	15	4	0	0	9,575	38,300
pályalemez	60	1	402,347	402,347	782,436	782,436
talaj	60	1	0	0	25,400	25,400
összesen	-	-	-	1251,599	-	2353,416

5. TÁBLÁZAT: Az elemzési időszakra vonatkoztatott ökológiai lábnyom

pályaszerkezet	CO ₂ kibocsátás [t/vgm]	EF [gha/vgm] (CO ₂ × 0,338)	BC: [gha/vgm] (2,2×2,5×1,15262)/10000	EF/BC
B3-as sín	1,251599	0,42304	0,000634	667,317621
59Ri2-es sín	2,353416	0,79545	0,000634	1254,660265

nyezetterhelésének mérésére és értékelésére alkalmas [7]. Alkalmazási lehetőségei ezért kiterjednek az építés anyagfelhasználásának mérésére is [8] [9]. Az ökológiai lábnyom módszertanon belül a szénlábnyom komponens az a megújuló erdőkapacitás, amely szükséges az antropogén CO₂ kibocsátás megkötéséhez, amelyet az óceánok nem nyelnek el. A szénlábnyom kulcsparamétere az átlagos erdei CO₂ megkötés, amelyet az erdei ökoszisztémák nettó szén-dioxid-megkötő képességéből számítanak ki [10].

A CO₂ kibocsátásból származó ökológiai lábnyom globális hektárban (gha) kifejezett nagysága a tonnában megadott CO₂ kibocsátás és a Global Footprint Network által (GFN) közzétett [4] Footprint Intensity of Carbon szorzataként határozható meg (5. táblázat). Ez az érték összehasonlítható a biokapacitással (BC), amely az adott terület eltartóképességét jelenti. Az 1 vágányméterre jutó biológiai kapacitást úgy tudjuk kiszámolni, hogy a területet megszorozzuk a GFN által megadott átváltási faktorokkal. Ezek közül az ún. ekvivalencia tényező (equivalence factor, EQF) a földhasználati kategóriák közötti átváltást teszi lehetővé, ez ebben az esetben 2,5-es szorzó, a másik, a hozamtényező (yield factor, YF) pedig egy ország-specifikus kiigazítás, amely Magyarország esetén a legfrissebb adatok szerint 1,15262-es szorzószám [4]. Az ökológiai lábnyom és biokapacitás hányadosa azt mutatja meg, hogy hányszorosa az adott terület ökológiai lábnyoma a biokapacitásának. Ez az érték minél kisebb, annál jobb, optimális helyzet az lenne, ha nem haladná meg az 1-et.

6. | ÖSSZEFOGLALÁS

Jól látható, hogy a vasbeton lemez, illetve a kiöntőanyag tekintetében jelentős megtakarítás mutatkozik, amelyek ökológiai lábnyom szempontjából is kedvezőbbé teszik a B3-as sínrel kialakított variánst. Pontos számítás nélkül is könnyen belátható, hogy a szerkezet bekerülési költsége is alacsonyabb lesz, mint a másik összehasonlított variánsé, a szerkezet ezáltal ökohatékonyabbnak tekinthető. Amennyiben teljesíteni kívánjuk a kitűzött klímacélokot, akkor rendkívül fontos az infrastrukturális beruházások ökológia szempontú vizsgálatát is áttemelni a mindennapi gyakorlatba. Jelen cikkünk terjedelmi korlátai miatt kizárólag a vizsgált komponensek anyagából és azok szállításából eredő CO₂ kibocsátást

elemztük. Azonban konkrét beépítésre készített tervek és építési technológiák komplex elemzése során bemutatható egy adott infrastruktúra elem tényleges ökológiai lábnyoma. Az elemzés bármilyen kötöttpályás infrastrukturális hálózatra, illetve bármilyen típusú pályaszerkezetre elvégezhető.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A TKP2021-NKTA-44 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a Tématerületi Kiválósági Program 2021 (TKP2021-NKTA) pályázati program finanszírozásában valósult meg.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Agnieszka Skala: Sustainable transport and mobility – Oriented innovative startups and business models. Sustainability 2022, 14(9), 5519. <http://dx.doi.org/10.3390/su14095519>
- [2] Mark Brussel, Mark Zuidgeest, Karin Pfeffer, Martin van Maarseveen: Access or accessibility? A critique of the urban transport SDG indicator. ISPRS International Journal of Geo-Information 2019, 8(2), 67. <http://dx.doi.org/10.3390/ijgi8020067>
- [3] Circular Ecology: Inventory of Carbon and Energy database. CE, 2019. <https://circularecology.com/embodied-carbon-footprint-database.html>
- [4] David Lin, Laurel Hanscom, Jon Martindill, Michael Borucke, Lea Cohen, Alessandro Galli, Elias Lazarus, Golnar Zokai, Katsunori Iha, Mathis Wackernagel: Working Guidebook to the National Footprint Accounts. Global Footprint Network, 2018. 74 p., <https://www.footprintnetwork.org/content/uploads/2018/05/2018-National-Footprint-Accounts-Guidebook.pdf>
- [5] Martin Schmied, Moritz Mottschall: Treibhausgasemissionen durch die Schieneninfrastruktur und Schienenfahrzeuge in Deutschland (FKZ 363 01 244). Öko-Institut e.V., 2013. 140 p. <https://www.oeko.de/oekodoc/1852/2013-520-de.pdf>
- [6] Valentina Niccolucci, Luca Coscieme, Nadia Marchettini: Benefit transfer and the economic value of biocapacity: Introducing the ecosystem service yield factor. Ecosystem Services 2021, 48, 101256. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101256>
- [7] David Lin, Laurel Hanscom, Adeline Murthy, Alessandro Galli, Mikel Evans, Evan Neill, Maria Serena Mancini, Jon Martindill, Fatime-Zahra Medouar, Huang Shiyu, Mathis Wackernagel: Ecological footprint accounting for countries: Updates and results of the national footprint accounts, 2012–2018. Resources 2018, 7(3), 58. <http://dx.doi.org/10.3390/resources7030058>
- [8] Bonnie McBain, Manfred Lenzen, Glenn Albrecht, Mathis Wackernagel: Building robust housing sector policy using the ecological footprint. Resources 2018, 7(2), 24. <http://dx.doi.org/10.3390/resources7020024>
- [9] Szigeti Cecília, Major Zoltán, Szabó Dániel Róbert, Szennay Áron: The ecological footprint of construction materials – A standardized approach from Hungary. Resources 2022, 12(1), 15. <http://dx.doi.org/10.3390/resources12010015>
- [10] Maria Serena Mancini, Alessandro Galli, Valentina Niccolucci, David Lin, Simone Bastianoni, Mathis Wackernagel, Nadia Marchettini: Ecological footprint: Refining the carbon footprint calculation. Ecological Indicators 2016, 61, pp. 390–403. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.09.040>

Kudronné Berta Eszter¹, Dr. Kemes Balázs², Dr. Nagy Balázs³,
Nagy Attila Balázs⁴, Dr. Perlakiné Dr. Patkó Csilla⁵

A TEXTILHULLADÉK HASZNOSÍTÁSI LEHETŐSÉGEI AZ ÉPÍTŐIPARBAN

TEXTILE WASTE UTILIZATION POSSIBILITIES IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY

KIVONAT / HUN

A körkörös gazdaság modellje alapján a hulladékként megjelenő anyagok nyersanyagként forgathatók vissza a rendszerbe, akár iparágakon átívelően. A lakossági textilhulladék jellemzőit figyelembe véve felmerülhet a kérdés, hogy hő- vagy hangszigetelésként alkalmazható lehet-e? Mivel a szakirodalomban e kérdésre jelenleg nem kaptunk kielégítő választ, ezért kutatásunkban a textilhulladékok építőipari célú újrahasznosításának lehetőségeit vizsgáltuk az anyagtulajdonságok szempontjából. Épületfizikai, azaz hőtechnikai és akusztikai laborméréseket végeztünk különböző textilhulladékból készült próbatestenen. A vizsgált minták hővezetési tényezője 0,036-0,074 W/(mK) közötti eredményeket mutatott, míg a hangelnyelési tényezője minden esetben a [0;1] tartományba esett.

Kulcsszavak: újrahasznosítás, körkörös gazdaság, ökológikus építészet, textilhulladék, hőszigetelés, hangszigetelés

ABSTRACT / ENG

Based on the circular economy model, materials that become waste can be recycled back into the system as raw materials, even across industries. Considering the characteristics of household textile waste, the question may arise whether it can be used as thermal or sound insulation. As the literature does not currently answer this question satisfactorily, our research investigated the possibilities of recycling textile waste for construction purposes. To analyse the applicability, we carried out building physics investigations, i.e. thermal and acoustic laboratory tests on different textile waste test specimens. The thermal conductivity of the tested samples showed results in the range of 0.036-0.074 W/(mK), while the sound absorption coefficient was in the range [0;1] in all cases.

Keywords: recycling, circular economy, ecological architecture, textile waste, thermal insulation, sound insulation

ektorált tartalom

¹ építészmérnök hallgató, BME Építészmérnöki Kar,
e-mail: eszter.szolo@gmail.com

² okleveles építészmérnök, DLA, egyetemi adjunktus, BME Építészmérnöki Kar Középülettervezési Tanszék,
e-mail: kemes.balazs@epk.bme.hu

³ okleveles szerkezet-építőmérnök, PhD, egyetemi docens, BME Építőmérnöki Kar Építőanyagok és Magasépítés Tanszék,
e-mail: nagy.balazs@emk.bme.hu

⁴ okleveles villamosmérnök, tanszéki mérnök, laboratóriumi vezető, BME Építészmérnöki Kar Épületszerkezet-tani Tanszék,
e-mail: anagy@epsz.bme.hu

⁵ okleveles építészmérnök, PhD, egyetemi adjunktus, BME Építészmérnöki Kar Épületszerkezet-tani Tanszék,
e-mail: cspatko@epsz.bme.hu

1. | A TÉMA AKTUALITÁSA

Napjainkra a Föld népessége meghaladta a 8 milliárd főt. Az ismert történelemben korábban soha nem tapasztalt növekedés ez, amely az elemzések alapján tovább folytatódik. A népességnövekedéssel együtt jár, hogy egyre többen osztozunk a bolygónk adta véges erőforrásokon és lehetőségeken, a korábbi évszázadokban vagy évezredekben még tágas világ egyre szűkösebbé válik. Ezt a folyamatot tovább gyorsítja az éghajlatváltozás, amelynek következtében nem csak a térlehatárolás eszközei fogynak, hanem az emberi életre alkalmas terület is. Az egyes kontinenseket és országokat vizsgálva hatalmas különbségek tapasztalhatók, amelyek egyre feszítőbb egyenlőtlenégeit sűrűsödő gazdasági és társadalmi válságok jelzik. Nagy különbség van abban a tekintetben is, hogy mit érzékelünk közvetlenül vagy mit gondolunk ezekről a változásokról a „fejlett világhoz” tartozó területen, vagy azon kívül.

Növekvő egyetértés mutatkozik viszont abban, hogy ez a folyamat egyre kevésbé fenntartható, paradigmaváltásra van szükség. Arról azonban megoszlanak a vélemények, hogy pontosan mit is kellene tennünk. Bár a problémákat jelző jelenségek sok hasonlóságot mutatnak, az eltérő földrajzi, társadalmi és gazdasági adottságok miatt várhatóan több eltérő, a lokális helyzetekhez igazodó modellrendszerre lesz szükség. Számos kutatás és kísérlet folyik jelenleg is, hogy kialakuljanak ezek az új működési modellek, amelyek legfontosabb közös tulajdonsága a környezetükhöz igazított, holisztikus értelemben fenntartható működtetés. Az egyik ilyen ígéretes modell a körforgásos gazdasági stratégia, amelyre épít és amelyhez kapcsolódik ez a cikk.

„Már nem civilizációnk fenntartható fejlődéséről, hanem „fenntartható visszavonulásról”, az élőhelyek gyökeres megváltozásáról, a puszta élet folytathatóságának lehetőségéről kellene beszélnünk. A Föld ilyen civilizációs elvárások mellett képtelen eltartani 7 (ma már több mint 8) milliárd embert (...) Megoldás: visszatérni / előrelépni a technika egy, a bioszféra által még tolerált szintjére egy másfajta társadalmi struktúrában.” [1]

2. | A TEXTILHULLADÉKOK ÚJRAHASZNOSÍTÁSÁNAK SZEREPE A KÖRKÖRÖS GAZDASÁGBAN

Az Európai Parlament 2021. június 24-én elfogadta az új uniós klíma rendeletet [2], amely jogilag kötelezővé teszi az üvegházhatású gázok kibocsátásának 55%-os csökkentését 2030-ig, és a klíma semlegességet 2050-ig [3]. A hazai körforgásos gazdasági stratégián belül kiemelt szakpolitikai területnek számít az építőipar, és azon belül az épületek. Az építésgazdasági stratégia körforgásos átállásra vonatkozó céljait „A körforgásos gazdaság bevezetése és a hulladékgazdálkodás kihívásainak kezelése” című SRSP/TSI projekt hiányelemzésének megállapításai taglalják [4]. A tanulmány többek közt kitér a tervezési fázisban a körforgásos szemlélet erősítésére, majd a kivitelezési fázisnál az újrahasznosításra vonatkozó műszaki irányelvek kidolgozásának szükségességére. A használati időszakra vonatkozóan taglalja az épületek élettartamának meghosszabbítására irányuló körforgásos szempontokat, valamint az életciklus végén a hulladékok értékelését az újrafelhasználási lehetőségek szerint.

A kutatás témája a textilhulladék építőanyagként való továbbhasznosításának lehetőségeit vizsgálja, kezdve azokkal a mérésekkel, amik az anyag épületfizikai teljesítményét törekszenek felmérni. Ezzel biztosítva a körkörös szemléletmódhoz való csatlakozási lehetőségeket mind az építőipar, mind pedig a divatipar tekintetében. Miután

kialakult a kép a textilhulladék, mint nyersanyag tulajdonságairól, a következő fontos lépés az átalakítás technológiájának módszertan-vizsgálata, illetve magának az újrahasznosítás metodikájának kialakítása a körkörös szemléletmódon keresztül.

A legnagyobb környezetterhelő iparágak között található az építő- és a textilipar. A divatipar a GDP 2%-át teszi ki és az üvegházhatású gázok kibocsátásának 10%-áért felelős, míg az építőipar az üvegházhatású gázok kibocsátásának 40%-áért felelős jelenleg, a világ GDP-jének 6%-át adja [6] [7]. Becslések szerint a textilipar a negyedik legszennyezőbb iparágá nőtt, a karbonlábnyom mellett a vegyi anyagok használatának mértéke és a vízszennyezés miatt. A divatipar termelése az elmúlt két évtizedben jelentős növekedést ért el – a fogyasztói hozzáállás társadalmi elterjedésével párhuzamosan. Világszinten 10 nagy divatcég a ruhaipar bevételeinek körülbelül a harmadát birtokolja, amit úgy érnek el, hogy távol-keleti országokban alacsony munkabérekért olcsó alapanyagokból gyártatják le a ruhaneműket [6]. Erős marketingtevékenység segítségével tudják eladni az akár hetente megjelenő új kollekciókat – innen eredeztethető a fast fashion kifejezés. A mennyiség mellett a minőség is problémás, hiszen rövid gyártási idő alatt, rengeteg vegyszer felhasználásával készülnek a részben természetes szálakból, 60%-ban pedig kőolajszármazékokból álló ruhadarabok [8]. Az egyre rövidebb ideig viselt ruhadarabok közül így egyre több akad fenn a rostán a használt-



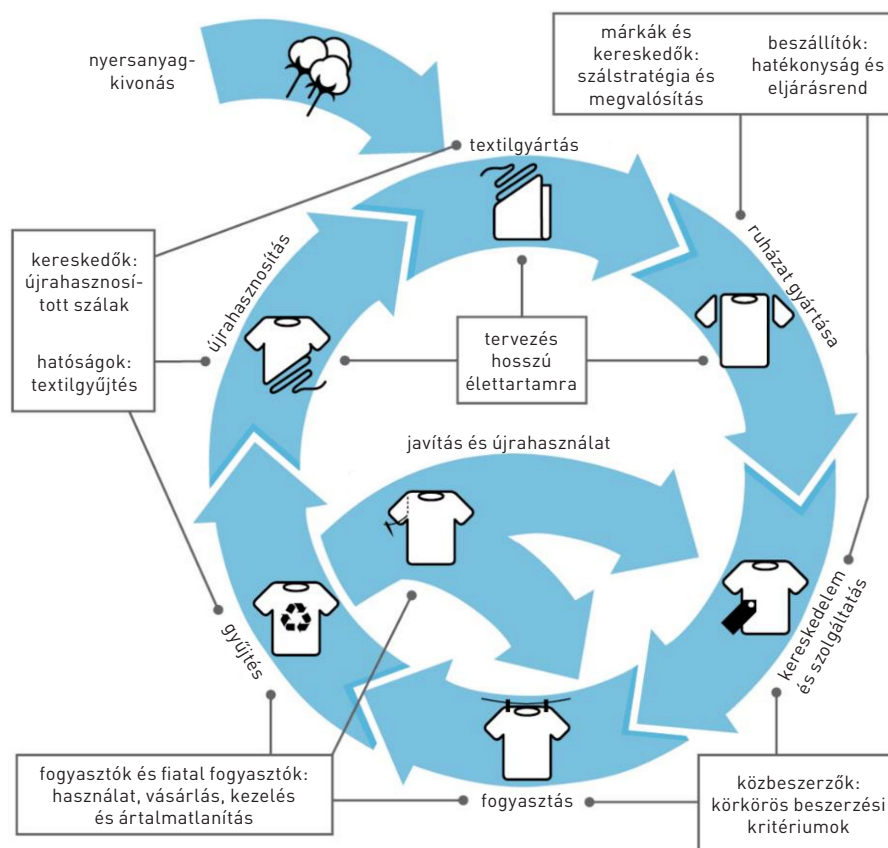
1. ÁBRA: Használtruha hegyek Afrikában [5]

ruha-kereskedelem és a jótékonyági adományozások során, majd kerül a hulladéklerakókba, égetőkbe. Végeredményként a felhasznált óriási mennyiségű energia és természeti erőforrás rövid idő alatt elértéktelenedik és kezelhetetlen mennyiségű hulladékként okoz problémát [9] (**1. ábra**). E hulladék nagy mennyiségű, légkörből megkötött szén-dioxidot tartalmaz és bár egy része természetes anyag, lebomlása – komposztálódása – nem előnyös a számos kémiai eljárás miatt, aminek a textilgyártás során a növényi rostokat alávetették [10].

Egy 2015-ös projekt keretében mérték az európai textilhulladék mennyiségét és minőségét, valamint energiaszükségletét is kiszámították [11]. Ebben az évben az EU-ban vásárolt ruhamennyiség 6,4 millió tonna volt, a kidobásra ítélt ruhamennyiség 11 millió tonna volt, melynek különbözete a gyártási folyamatok közben termelődő hulladékanyag. Az anyag típusok mennyiségét külön-külön mérték, és ezen adatok szolgáltak alapul az ökológiai lábnyom kiszámításához. Ez alapján a karbonlábnyom 195 millió tonna, a víz lábnyom 46,4 milliárd m³.

A textilipar lassú megújulása folyamatban van (**2. ábra**). Komoly kutatás-fejlesztés zajlik a textiliák minőségének javítására, a gyártási hulladék mennyiségének csökkentésére és új, környezetbarát alapanyagok megalkotására. A használt ruhák tekintetében egyre inkább elfogadott a ruhák elajándékozása, adományba adása, továbbértékesítése, így sok darab tovább körforgásban marad (**3. ábra**). A kidobásra ítélt ruhák azonban jelenleg jellemzően a kommunális hulladékgyűjtőbe kerülnek, ezáltal továbbhasznosításuk ellehetetlenül. A problémát felismerve fogalmazta meg 2018-ban az Európai Unió 2018/851-es irányelvét [12], mely szerint 2025. január 1-jétől a textilhulladékot külön kell gyűjteni, amelynek következtében az be tud lépni a hulladékhierarchia magasabb szintjén a hulladékhasznosításba, vagy akár vissza a gyártási folyamatba.

Számtalan felhasználási lehetőség van a használt ruháknak, lakástextileknek, de akár a gyártási anyagmaradékoknak, szabászati hulladékoknak is. Van olyan felhasználás, ahol nem mindegy az anyagösszetétel, illetve nem minden újrafeldolgozást végző



2. ÁBRA: A textilipar körforgásos működése [11] alapján

cég, vállalkozás vállalja a használt textilek tisztítását. A termelődő hulladék mennyisége és a mennyiség várható növekedése miatt azonban még ha ezek a vállalkozások növelik is a feldolgozóképeségüket, vagy az újrafeldolgozott termékek felértékelődése mentén

létesülnek új vállalkozások, akkor is marad kezelésre szoruló hulladék. Ezek – például építőipari – hasznosítása elkerülhetővé tenné, hogy égetésükkel, hulladéklerakóba küldésükkel tovább növeljük az üvegházhatású gázok mennyiségét a légkörben.



3. ÁBRA: Textrade hazai textilhulladék-válogató üzem [a korforras.hu hozzájárulásával] [13]



4. ÁBRA: A párna töltete



5. ÁBRA: „P” jelű párna



6. ÁBRA: „K” jelű próbatesszt

3. | TUDOMÁNYOS KUTATÁSOK: ÉPÍTŐIPARI TERMÉKEK TEXTIL-HULLADÉKBÓL

A szakirodalom áttekintéséből látható, hogy tudományos kutatásokban többen többféle megoldást is vizsgáltak a textilhulladékok építőipari célú felhasználására, az alább szereplő anyagtulajdonságok azonban nem deklarált értékek.

Fontos megemlíteni Briga-Sá és társai kísérletét, melyben cementes keverékhez adtak textilhulladékot különböző arányban. Nem-teherhordó blokkokat akartak így előállítani, az átlagosnál jobb hőszigetelő képességgel. Az anyag hővezetési tényezőjét $0,149 \text{ W/(mK)}$ -ig sikerült lecsökkenteniük [14]. Korábban, mások kéthéjú falazatba építve vizsgálták 100% akril összetételű kötött textilanyag, illetve ennek a gyártási hulladékának a hőszigetelő képességét. A két fal közé ömlesztett nagyobb darabokból álló töltetre $0,044 \text{ W/(mK)}$ hővezetési tényezőt kaptak [15]. Sedlmayer és társai ismert összetételű kevert szálás minták hővezetési tényezőjét és dinamikai merevségét vizsgálták. A hulladék textilanyagokat kismértékben átalakították: tépéssel, foszlatással és felületkezeléssel. Mért eredményeik $\lambda = 0,036\text{-}0,042 \text{ W/(mK)}$ között mozogtak [16]. El Wazna és társai két akril és két gyapjú mintát állítottak elő géppel, nemezeléshez hasonló eljárással. Így $25\text{-}60 \text{ kg/m}^3$ sűrűséget értek el, amit vizsgálva $0,0339\text{-}0,0355 \text{ W/(mK)}$ hővezetési tényezőket kaptak [17]. Disanayake és társai szintetikus alapú (nejlon, spandex és poliuretán) szabászi hulladékból sajtólással állítottak elő paneleket. Az általuk optimálisnak tartott összetétel esetén értek el $0,0953 \text{ W/(mK)}$ hővezetési tényezőt [18].

Egy egyetemünk részvételével 2021-ben végzett kutatás többek között a kereskedelemben már kapható farmer alapú hőszigetelést is vizsgálta, a hővezetési tényezőt hőmérséklet és sűrűség függvényében mérve. Ezek a minták $0,036\text{-}0,039 \text{ W/(mK)}$ hővezetési tényezővel rendelkeztek [19].

A hatékony és gazdaságos újrahasznosítás érdekében a hatalmas mennyiségű textilhulladékot ipari léptékben szükséges kezelni. A lakossági textilhulladék jellemzően elhasznált ruhamezőkből keletkezik, amelyek egyik fő funkciója az emberi test hővédelme. Emellett lakástextíliákat zajcsillapításra is alkalmaznak, így adódik a feltetelezés, hogy hulladékok hő- vagy hangszigeteléseként alkalmazható lehet valamilyen formában az építőipar számára. Az ökológikus építészetben ez egy lehetőséget jelentene arra, hogy a magas szén-dioxid kibocsátással előállított termékek helyett a nagy mennyiségű megkötött szén-dioxidot tartalmazó anyagokat alkalmazzanak.

Jó példaként megemlíthetünk két gyártót, melyek kifejlesztettek hőszigetelő termékeket hulladéktextíliák felhasználásával. Az amerikai Bonded Logic Inc. hőszigetelés gyártó cég Ultra Touch DENIM terméke 80%-ban használt farmerek feldolgozásával készített hőszigetelő paplant, melyet perforációk segítségével könnyen méretre lehet vágni. Az anyagot bőr alapú égésgátlóval, gombaölő- és penészgátló szerekkel kezelik. A termék hangszigetelő képessége is kiemelkedő a szigetelő anyagok között [20]. Egy másik cég, a szlovák Envirotex, szélesebb körben használja fel a textilhulladékot, a hőszigetelés mellett rezgésszigeteléshez, zajvédő falak és vízvisszatartó talajfeltöltések készítéséhez is gyártanak termékeket [21].

4. | VIZSGÁLT ANYAGOK, MÓDSZERTAN ÉS EREDMÉNYEK

Jelen szócikkben bemutatott vizsgálatok alapját egy 2022-ben készített TDK kutatás és dolgozat [22] keretein belül elvégzett épületfizikai mérések alkotják.

Az első esetben a Fandaro cég Szécsényben gyártott párnáit használtuk, melyeket mélyhűtött élelmiszerek szállításához használható hőszigetelő csomagolásként forgalmazznak. A töltete szabászatokból, varrodákból kikerülő tiszta anyagmaradék, amit tépő-, majd farkasológépekkel vattaszerűvé alakítanak (4. ábra). A gyártási folyamat alacsony ökológiai lábnyommal bír. Ezekből a „K” jelű kevert (5. ábra) és „P” jelű pamut szálás (6. ábra) anyagösszetételű párnákból készített próbatesteken hővezetési tényező mérését végeztük, több párnából álló felületen pedig hangnyelést mértünk.

A második esetben pedig használt, vegyes anyagösszetételű ruhákból készítettünk „S” jelű, a hőáram irányára merőleges rétegekből (7. ábra), illetve „H” jelű, a hőárammal párhuzamos rétegekből (8. ábra) és „M” jelű, ömlesztett, apró darabokból álló (9. ábra) próbatesteket.

Peremvédett segédfűtőlappal berendezéssel (Taurus TLP 300 DTX) (10. ábra) vizsgáltuk a próbatestek hővezető képességét az MSZ EN 12667:2001 szabvány [23] alapján. A $300 \times 300 \times 85\text{-}100 \text{ mm}$ méretű próbatesteket $10 \text{ }^\circ\text{C}$ átlagos középhőmérsékleten mértük a vizsgálatok során, melyek előtt laborlevegőn ($23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ és $50 \pm 5\% \text{ RH}$) tároltuk. A párnákból készült próbatesteken 8 mérést végeztünk, hogy ezek esetében a vizsgálat során eltérő nyomóerő alkalmazásával



7. ÁBRA: „S” jelű próbatetest

a hővezetési tényező szempontjából optimális sűrűséget is kimérhessük.

A vizsgálatok eredményei alapján megállapítottuk, hogy a gyárilag beállított 61-63 kg/m³ sűrűség nagyon közel állt az általunk mért legalacsonyabb hővezetési tényezőnél beállított sűrűséghez. A párnák töltetere 60 kg/m³ sűrűség esetén 0,0359-0,0471 W/(mK) közötti értékeket kaptunk, míg a különböző szövetből készült minták 0,0565-0,0739 W/(mK) hővezetési tényezővel rendelkeztek (11. ábra).



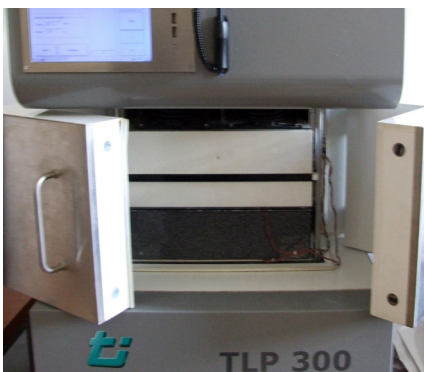
8. ÁBRA: „H” jelű próbatetest

A „P” jelű párnákat akusztikai vizsgálatnak is alávetettük, az MSZ EN ISO 354:2003 [24] alapján hangelnyelési képességüket határoztuk meg. A párnákat zengő szobában helyeztük el (12. ábra), ahol rózsaszaj kibocsátása, majd a forrás kikapcsolása után mértük a hangnyomásszint-csökkenést, a mérőberendezés ez alapján határozta meg az utózengési időt. Az utózengési idő oktávsávonkénti átlagolt értékéből Sabine-képlet alapján számíthattuk az anyag hangelnyelő képességét.

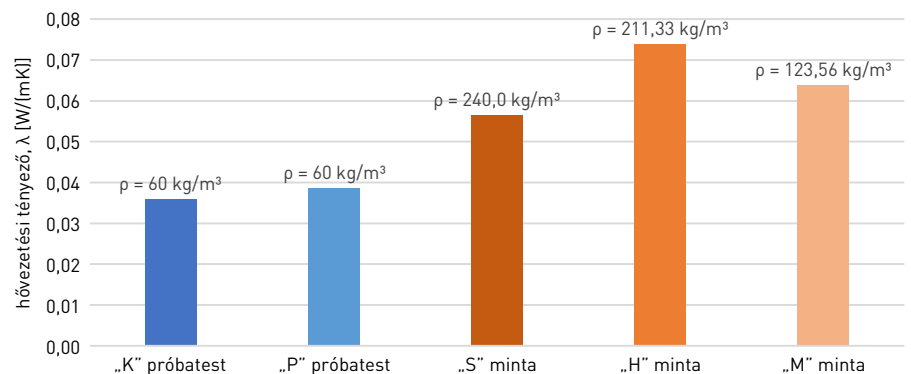


9. ÁBRA: „M” jelű próbatetest és töltete

A párnák felső felületével számított értékek alapján azt látjuk, hogy az anyag hangelnyelése a jelenleg forgalomban kapható üveggypot lemezek hangelnyeléséhez nagyon hasonló (13. ábra), tehát hangelnyelő burkolatként alkalmazható lenne. Ezen kívül a jó hangelnyeléséből, az anyag szerkezetéből és fajlagos tömegéből adódóan az is valószínűsíthető, hogy szerelt falszerkezetekben a belső, hangelnyelő tulajdonságú ásványgypot szálal réteg helyett is alkalmazni lehetne.



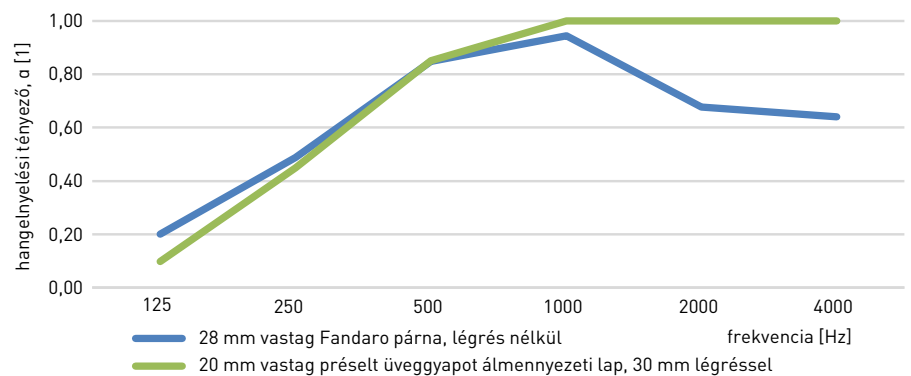
10. ÁBRA: Taurus TLP 300 DTX típusú berendezés behelyezett próbatesttel



11. ÁBRA: A hővezetési tényező mérések eredményei a különböző próbatesteken



12. ÁBRA: Az utózengési idő mérése zengő szobában, a hangelnyelési tényezők számításához



13. ÁBRA: A párnák hangelnyelési tényezői összehasonlítása egy kereskedelemben kapható hangelnyelő burkolat [25] hangelnyelési tényezőivel 125-4000 Hz frekvenciatartományban

5. | KONKLÚZIÓ ÉS A KUTATÁS FOLYTATÁSÁNAK LEHETSÉGES IRÁNYAI

Kutatásunkban röviden megvizsgáltuk a divatipar környezetterhelését és megkíséreltünk megoldást találni a körkörös gazdaságba való integrációjára a textilhulladékok építőipari célú felhasználásával. Feltételeztük, hogy a textilhulladék anyaga alkalmas lehet hő-, illetve hangszigetelésre, ezért a szakirodalomban kerestünk ilyen témájú vizsgálatokat. Azt találtuk, hogy a vegyes összetételű textilhulladék nagy mennyiségének kezelésére nem kínál kielégítő megoldást a meglévő, jellemzően farmert felhasználó termékpaletta, azonban érdemes foglalkozni az építőipari hasznosíthatóság kérdésével. Ezek alapján magunk is végeztünk hőtechnikai és akusztikai méréseket különböző, vegyes anyagösszetételű használt ruhából készült próbatesteken.

A Fandaro cég párnái mindkét szempontból jó eredményeket mutattak, hővezetési tényezőjük 0,036-0,047 W/(mK) közötti értékeket adott, hangnyelési tényezője [0,1] tartományba esett. A szövetből készített minták rosszabb, 0,057-0,074 W/(mK) hővezetési tényezővel rendelkeznek. Vizsgálataink alapján úgy gondoljuk, hogy érdemes foglalkozni a textilhulladék építőipari hasznosíthatóságával és meg kell ismernünk a benne rejlő potenciált.

További kutatási irány lehet a hőszigetelő képesség vizsgálata magasabb páratartalom esetén, a léghanggátlás mérése, az anyag időbeni roskadásának vizsgálata, a tűzállóság javítási lehetőségeinek vizsgálata. Érdemes lenne megfigyelni, hogy a kapott eredmények milyen mértékben függnek össze a textíliák anyagösszetételével. A beépíthetőség kérdéskörében kompozitként való alkalmazásuk jó lehetőségeket kínál, ezért ilyen irányú vizsgálatokat is érdemes lenne folytatni. Elengedhetetlen lenne a problémahalmazt az infrastrukturális lehetőségek és feladatok szempontjából is vizsgálni: az EU Hulladék Keretirányelv által

2025-től előírt szelektív gyűjtést milyen módon lehet biztosítani, mekkora területet tud lefedni egy gazdaságos méretű újrafeldolgozó üzem.

Az építőipar és divatipar, két domináns iparág, melyek nagymértékben járulnak hozzá a hulladékok előállításához, egy holisztikus rendszerszemléleten keresztül, a gyártási folyamataik összekapcsolásával, a körkörös gazdaság irányvonalának egy meghatározó elemévé válhatnak. Ezáltal elindulhatna egy együttműködés a különböző iparágak között, egymást segítve a körkörös modellre való átállásban.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **James Lovelock:** The Vanishing Face of Gaia: A Final Warning: Enjoy It While You Can. Allen Lane, 2009, 200 p.
- [2] **Európai Parlament:** 2050-re klímasemleges EU - megvan az EP jóváhagyás. EP sajtóközlemény, 2021.06.24. <https://www.europarl.europa.eu/news/hu/press-room/20210621IPR06627/>
- [3] **Európai Parlament:** Mit jelent a karbonsemlegesség, és hogyan érhető el 2050-ig? EP sajtóközlemény, 2019.12.17. <https://www.europarl.europa.eu/news/hu/headlines/priorities/klimamegallapodas-2016/20190926ST062270/>
- [4] **OECD:** Towards a National Circular Economy Strategy for Hungary, OECD Publishing, Paris, 2023. 249 p. <https://doi.org/10.1787/1178c379-en>
- [5] **Linton Besser:** Dead white man's clothes. Online cikk, 2021.08.11. <https://www.abc.net.au/news/2021-08-12/fast-fashion-turning-parts-ghana-into-toxic-landfill/100358702>
- [6] **Fashion United:** Global Fashion Industry Statistics. Online adatgyűjtemény, FU, 2021. <https://fashionunited.com/global-fashion-industry-statistics>
- [7] **Európai Parlament:** A textilgyártás és a textilhulladék környezetre gyakorolt hatása (infografika). EP sajtóközlemény, 2020.12.29. <https://www.europarl.europa.eu/news/hu/headlines/society/20201208ST093327/>
- [8] **Changing Market Foundations:** Fossil Fashion - The hidden reliance of fast fashion on fossil fuels. CMF, 2021. 24 p. http://changingmarkets.org/wp-content/uploads/2021/01/FOSSIL-FASHION_Web-compressed.pdf
- [9] **Edőcsény Klára Ilona, Harangozó Gábor:** Fenntartható üzleti gyakorlatok a divatiparban - a hazai mikro-, kis- és középvállalkozások példáján keresztül. Vezetéstudomány, LII. évf., 6. szám, 2021, <https://doi.org/10.14267/VEZTUD.2021.06.01>
- [10] **Alden Wicker:** Fast fashion is creating an environmental crisis. Newsweek Magazine online cikk, 2016.01.09. <https://www.newsweek.com/2016/09/09/old-clothes-fashion-waste-crisis-494824.html>
- [11] **ECAP, Sarah Gray:** Mapping clothing impacts in Europe: the environmental cost. ECAP, 2017.12. 41 p. <http://www.ecap.eu.com/wp-content/uploads/2018/07/Mapping-clothing-impacts-in-Europe.pdf>
- [12] **European Commission:** Waste framework directive. EC közlemény, https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive_en
- [13] **Mengyán Eszter:** Hova kerül a használt ruha a gyűjtő konténerből? Textilújrahasznosítóban jártunk. Online cikk, 2020.04.02. <https://korforras.hu/2020/04/02/hova-kerul-a-hasznalt-ruha-a-gyujtokontenerbol/>
- [14] **Ana Briga-Sá, Norma Gaibor, Leandro Magalhaes, Tiago Pinto, Dinis Leitao:** Thermal performance characterization of cement-based lightweight blocks incorporating textile waste. Construction and Building Materials, vol. 321 (2022), 126330, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126330>
- [15] **Ana Briga-Sá, David Nascimento, Nuno Teixeira, Jorge Pinto, Fernando Caldeira, Humberto Varum, Anabela Paiva:** Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution. Construction and Building Materials, vol. 38 (2013), pp. 155-160, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.08.037>
- [16] **Martin Sedlmajer, Jiri Zach, Jitka Hroudová:** Possibilities of development of thermal insulating materials based on waste textile fibers. Advanced Materials Research, vol. 1124 (2015), pp. 183-188, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1124.183>
- [17] **Mohamed El Wazna, Mohamed El Fathi, Abdeslam El Bouari, Omar Cherkaoui:** Thermo physical characterization of sustainable insulation materials made from textile waste. Journal of Building Engineering, vol 12 (2017), pp. 196-201, <https://doi.org/10.1016/j.job.2017.06.008>
- [18] **Kanchana Dissayanake, Dakshitha Weerasinghe, Pramodya Wijesinghe, P. Kalpage:** Developing a compression moulded thermal insulation panel using postindustrial textile waste. Waste Management, vol 79 (2018), pp. 356-361, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.08.001>
- [19] **Elena Dieckmann, Richard Onsiong, Balázs Nagy, Leila Sheldrick, Christopher Cheeseman:** Valorization of waste feathers in the production of new thermal insulation materials. Waste and Biomass Valorization, vol. 12 (2021), pp 1119-1131, <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01007-3>
- [20] **Bonded Logic:** UltraTouch Denim Insulation. Termék adatlap, <https://www.bondedlogic.com/ultratouch-denim-insulation/>
- [21] **EnviroTex:** Textile Recycling Group. Gyártói webhely, <https://envirotex.eu/>
- [22] **Kudronné Berta Eszter:** Textilhulladék hasznosítása az építőiparban. TDK dolgozat, 2022, 46 p. <https://tdk.bme.hu/EPK/Zold2/Textilhulladek-hasznositasa-az-epitoiparban>
- [23] **MSZ EN 12667:2001** Építési anyagok és termékek hőtechnikai viselkedése. A hővezetési ellenállás meghatározása segédűtőlapos és hőárammérős eljárással. Nagy és közepes hővezetési ellenállású termékek
- [24] **MSZ EN ISO 354:2003** Akusztika. A hangnyelés mérése zengő szobában
- [25] **Ecophon:** Ecophon Focus A. Termék adatlap, <https://www.ecophon.com/hu/ecophon/modular-ceilings/focus/focus-a/>

Bedő Mózes Norbert¹, Bozsaky Dávid², Pollák András³

HŐSZIGETELŐ ANYAGOK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA KÜLÖNBÖZŐ HŐMÉRSÉKLETI ÉS NEDVESSÉGVISZONYOK MELLETT

COMPARATIVE TESTS ON THE CHANGE OF MATERIAL PROPERTIES OF THERMAL INSULATION MATERIALS UNDER DIFFERENT ENVIRONMENTAL CONDITIONS

KIVONAT / HUN

Az energiatakarékosság és a károsanyag-kibocsátás csökkentése kiemelt fontosságú a háztartások és az építőipar számára egyaránt. Épületeink fűtéséhez nagy mennyiségű fosszilis tüzelőanyag elégetése szükséges, ami a külső termikus burok hőszigetelésével jelentősen csökkenthető. Napjaink épületenergetikai előírásai mellett már elképzelhetetlen hőszigetelés nélküli épületet tervezni. A szokásos hőszigetelő anyagok alaptulajdonságai általában széles körben ismertek, azonban többnyire csak töredékinformációk állnak rendelkezésre azzal kapcsolatban, hogy ezek a tulajdonságok hogyan változnak a beépítés körülményeinek függvényében, illetve akkor, ha sérülés, rongálás vagy tervezési-kivitelezési hiba következtében az anyag nem várt többletterhelést szenved. Jelen kutatás célja annak vizsgálata volt, hogy egyes hagyományos hőszigetelő anyagok tulajdonságai miként változnak abban az esetben, ha lapostetőn vagy homlokzat hőszigetelésére használjuk őket és az ilyen körülmények között várható hatásokon felül a vízszigetelés, vagy a homlokzatburkolat sérülése miatt nedvesség hatásnak és/vagy egy forró nyári napon erőterjes napsugárzásnak is ki van téve.

Kulcsszavak: hőszigetelő anyagok, nedvesség hatás, hőmérsékleti hatás, anyagtulajdonságok változása, expandált polisztirolhab, poliuretánhab, kőzetgyapot

ABSTRACT / ENG

Saving energy and reducing greenhouse gas emissions is a priority for both the buildings and the construction sector. Heating of our buildings requires the burning of fossil fuels, which can be significantly reduced by insulating the building envelope. Nowadays, the thermal insulation of our buildings is essential. There are several important, well-known data about the most thermal insulation materials, but we have negligible information about the change of their material properties under installation conditions or if they are already exposed to additional stresses due to structural failures and damages. The aim of this study was to examine the changes in material properties of three common thermal insulation materials when installed in a flat roof or facade and exposed to excess moisture due to the damage of waterproofing or facade and/or when exposed to direct strong sunlight.

Keywords: thermal insulation materials, moisture effect, temperature effect, change of material properties, expanded polystyrene foam, polyurethane foam, rock wool

ektorált tartalom

¹ építésmérnök, Czita Építész Iroda Kft., e-mail: norbert9923@gmail.com

² okl. építésmérnök, PhD, habil, tanszékvezető, egyetemi docens, Széchenyi István Egyetem, Építészeti és Épületszerkeztani Tanszék, e-mail: bozsaky@ga.sze.hu

³ építőmérnök, tanszéki mérnök, laborvezető, Széchenyi István Egyetem, Építészeti és Épületszerkeztani Tanszék, Építőanyag- és Szerkezetvizsgáló Laboratórium, e-mail: pollak.andras@ga.sze.hu

1. | BEVEZETÉS

Az energiaforrásokkal való takarékoskodás mindig is nagy kihívást jelentett az emberiség számára. Az energiafogyasztás ugrásszerű növekedése már az ipari forradalom kezdetétől datálható, az ebből eredeztethető környezetszennyezés hatásai pedig már a 19. században érezhetőek voltak. Az első környezetvédelmi törvényt az akkoriban legfejlettebb ipari országnak számító Egyesült Királyságban adták ki 1863-ban [1].

Annak ellenére, hogy a növekvő környezetszennyezés globális hatásait már a második világháború után előre lehetett jelezni, az első környezetvédelmi intézkedések csak az 1960-as években születtek, amikor a klímaváltozás hatásai kezdtek drasztikussá válni. Az első fontosabb, környezetvédelmi kérdéseket feszegető nemzetközi esemény az 1972-ben Stockholmban megrendezett ENSZ Konferencia az Emberi Környezetről volt. Az emberiségnek azonban olyan drámai események kellettek, mint az 1970-es évek olajválsága, hogy igazán komolyan vegye az energiahatékonyság és a károsanyag-kibocsátás csökkentésének fontosságát. Ekkor kezdett el a tudományos világ az épületenergetikai kérdésekkel intenzíven foglalkozni és ezzel párhuzamosan a kimondottan hőszigetelési célú építőanyagok iránti igény fokozódni [2].

1. TÁBLÁZAT: Magyarország primer energiafogyasztásának ágazati eloszlása (2020) [4]

szektor	primer energiafogyasztás	
	TJ	%
háztartások	249 362	29,96
ipar	185 617	22,30
közlekedés	185 913	22,34
kereskedelem és közszolgáltatás	85 112	10,23
mezőgazdaság	29 467	3,54
nem energetikai hasznosítás	96 904	11,64
Σ	832 372	100,00

Sajnálatos módon a számos intézkedés ellenére a világ energiafogyasztása töretlenül nő annak érdekében, hogy kielégítse az egyre gyorsabban növekvő népesség igényeit. A 2018-as adatok szerint a világ energiafogyasztásának 36%-át, az üvegházhatású gázoknak pedig 39%-át a háztartások, ill. az építőipar teszi ki, az épületállomány energetikai fejlesztése tehát kiemelt területnek számít [3]. Statisztikai adatok szerint **(1. táblázat)** 2020-ban Magyarországon a háztartások a teljes energiafogyasztás 29,96%-át tették ki, egy átlagos épület energiafogyasztásának jelentős részét (70,69%) pedig a fűtési energia jelentette [4].

Mindebből következik, hogy a háztartások energiafogyasztásának csökkentése rendkívül fontos feladat és a legnagyobb potenciál a fűtési energia megtakarításában rejlik [5]. Hőszigetelés segítségével nagymértékben csökkenthető az épülethatároló szerkezeteken keresztül távozó hőmennyiség, így nagyon sok múlik a megfelelő és hatékony hőszigetelés kiválasztásán [6].

2. | LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATOK

Az építéseknek mindig is elsődleges feladatai közé tartozott, hogy az általuk tervezett épületek belső tereiben megfelelő komfortérzetet biztosítsanak [7]. Az építőanyagok és építési technológiák fejlődésével az emberi igények is folyamatosan változtak. Annak érdekében, hogy ez a fejlődés fenntartható legyen, olyan jogi és műszaki szabályozások születtek, amik olyan szigorú energetikai követelményeket támasztottak az épületekkel szemben, amelyeket hőszigetelő anyagok alkalmazása nélkül gyakorlatilag lehetetlen teljesíteni [8].

Az elmúlt időszakban egyre környezettudatosabb és energiahatékonyabb épületszerkezeti megoldások születtek, miközben a hőszigetelő anyagok is hatalmas fejlődésen mentek keresztül [9]. A gyártói termékfejlesztések és a szigetelőanyagokkal kapcsolatos kutatások egyaránt az anyagtulajdonságok javítását célozták, ami magával vonta a hőszigetelő anyagok minősítő rendszereinek kidolgozását.

Miközben manapság a gyártók és forgalmazók számtalan információt

közölnek a termék laboratóriumi körülmények között meghatározott anyagtulajdonságairól, néhány kivételtől eltekintve [10, 11] nem állnak rendelkezésünkre olyan megbízható mérési eredmények, melyek arról adnak információt, hogy milyen hatással vannak rájuk a beépítési körülmények, és hogy az idő múlásával a környezeti hatások milyen változásokat okoznak eredeti fizikai vagy kémiai tulajdonságaikban. A szabványos laboratóriumi mérések általában idealizált körülményeket között zajlanak, és inkább a környezeti hatások kizárására, mint figyelembe vételére törekszenek.

2021-ben a Magyarországi EPS Hőszigetelőanyag Gyártók Egyesülete azzal a feladattal bízta meg a Széchenyi István Egyetem Építészeti és Épület-szerkezettani Tanszékét, hogy vizsgálja meg különböző hőszigetelő anyagok tulajdonságainak változását többféle környezeti feltétel mellett. A vizsgálatok tárgyát a három leggyakrabban használt hőszigetelő anyag képezte: az elsősorban homlokzati hőszigetelésre alkalmas expandált polisztirolhab (EPS 80) és kőzetgyapot, valamint az elsősorban lapostetők és padlószervezetek hőszigetelésre alkalmas, alumínium kasírozású poliuretánhab (PIR).

Lapostetők kivitelezése esetén gyakran előfordul, hogy a helytelenül beépített vízszigetelés miatt idővel a hőszigetelésbe nedvesség kerül, jelentős károkat okozva. Előfordulhat továbbá, hogy a hőszigetelés alatti párazáró réteg hibája miatt a belső térben keletkező pára behatol a hőszigetelő rétegbe, amihez hozzáadódhat egy erős, nyári napsütés által okozott hőterhelés hatása is. Gyakran előfordul továbbá (főleg nagy tetőfelületek szigetelésekor), hogy a szigeteléséhez szükséges teljes anyagmennyiséget felhalmozzák a tetőn és ott hosszasan tárolják, szabad térben. Rendszerint nem gondoskodnak a nedvesség és a magas hőmérséklet elleni védelméről sem. Ez azért problémás, mert egy hirtelen jövő nyári zápor esetén nincs lehetőség az anyagot azonnal megvédeni, vagy beépíteni, ezáltal elkerülhetetlen a nedvesség és hőmérséklet közvetlen hatása.

A homlokzati hőszigetelő rendszerek esetén gyakran az ablakpárkányok hibás beépítése okoz problémát, melynek következtében a szigetelőanyagba nedvesség kerül. A nedvesség hom-

2. TÁBLÁZAT: Kondicionálási körülmények és a modellezett környezeti hatások

sor-szám	kondicionálási körülmény		szimulált környezeti hatás
	T (°C)	φ (%)	
1.	23±2	50	normál (referenciaérték)
2.	50	50	közvetlen napsugárzás
3.	70	50	közvetlen, erős, nyári napsugárzás
4.	23±2	90	nedvességátadás
5.	50	90	nedvességátadás és közvetlen napsugárzás
6.	70	90	nedvességátadás és közvetlen, erős, nyári napsugárzás

lokzati szigetelésbe való bejutásának másik gyakori oka, hogy a hőszigetelést védő burkolat (pl. külső vakolat) megsérül. Mindezen kívül a homlokzatot közvetlen, erős napsütés is érheti. Kijelenthetjük tehát, hogy mindkét szerkezetcsoporthoz esetében indokolt annak vizsgálata, hogy a hőmérséklet és a nedvességtartalom emelkedése (külön-külön és együttesen) milyen változásokat idéz elő az anyag tulajdonságaiban.

A különféle környezeti hatások megfelelő modellezése érdekében a gyártókkal és a megbízóval történt egyeztetések alapján előírt ideig, konkrét hőmérsékleti és páratartalom értékek melletti kondicionálási körülményeket határoztunk meg (**2. táblázat**), melyekkel az említett állapotokat sikerült modellezni.

A nedvességátadásnak 90% relatív páratartalom, a direkt napsugárzásnak 50 °C hőmérséklet, a közvetlen, erős nyári napsugárzásnak pedig 70 °C hőmérséklet felelt meg, a kondicionálás időtartama 48 óra volt. A kondicionálásra exsikkátor és klímakamra szolgált. Minden mérési eredmény három próbatesten mért vizsgálati érték átlagából származott, ahol túlságosan nagy szórás mutatkozott, ott további próbatestek készültek.

A vizsgálatok a termék felhasználhatósága szempontjából legfontosabb tulajdonságainak (**3. táblázat**) változására fókuszáltak, ezek a húzószilárdság (σ_n), a nyomószilárdság (σ_{ny}) és a hővezetési tényező (λ).

Az anyagtulajdonságok változását három szemszögből is elemeztük. Az összehasonlító elemzés egyrészt an-

3. TÁBLÁZAT: A vizsgált hőszigetelő termékek teljesítménynyilatkozatok szerinti anyagtulajdonságai

anyagtulajdonság	hőszigetelő anyag			
	EPS	PIR	kőzetgyapot	
nyomószilárdság (σ_{ny})	osztály	CS(10)80	CS(10/Y)100	CS(10/Y)20
	érték	> 80 kPa	> 100 kPa	> 20 kPa
felületre merőleges húzószilárdság (σ_n)	osztály	TR150	TR70	TR10
	érték	> 150 kPa	> 70 kPa	> 10 kPa
hővezetési tényező (λ)	érték	0,038 W/mK	0,022 W/mK	0,035 W/mK
gyártó által ajánlott felhasználási terület	-	épület-homlokzatok	lapostető, padlószerkezetek	épület-homlokzatok

nak felderítésére irányult, hogy miként változtak meg a anyag tulajdonságai az eredeti értékekhez képest, azaz páratartalom- és hőmérsékletváltozás együttes hatása mellett; másrészt, hogy miként befolyásolják őket az azonos hőmérsékleti, de eltérő páratartalom értékek, vagyis a páratartalom-változásnak önmagában milyen hatása; s végezetül, hogy miként alakulnak azonos páratartalom, de eltérő hőmérsékleti értékek mellett, vagyis milyen hatása van önmagában a hőmérséklet-változásnak.

Fontos megemlíteni, hogy beépítési módtól függetlenül mindegyik modellezett körülmény (hőmérséklet és páratartalom kombináció) előfordulhat a vizsgált anyagokban annak ellenére, hogy a gyártói ajánlások alapján két termék (EPS, kőzetgyapot) csak épülethomlokzatok, egy termék pedig csak padlószervezetek és lapostetők hőszigetelésére alkalmas. A vizsgált anyagtulajdonságok azonban nem feltétlenül relevánsak mindkét beépítési mód esetén. Padlók és lapostetők szigetelésére alkalmas anyagokkal szemben nem támasztanak húzószilárdsági követelményt, így az eredményekből inkább csak tendencia jellegű következtetések vonhatók le (bár meg kell jegyezni, hogy a vizsgált PIR termék teljesítménynyilatkozat szerinti húzószilárdsága megegyezik a homlokzati hőszigetelésre ajánlott PIR termékekével). Hasonló tendencia jellegű következtetések vonhatók le a hővezetési tényező vizsgálati eredményeiből, ugyanis a különböző épülethatároló szerkezetekre (homlokzat, padló, lapostető) más-más hőszigetelési követelmény vonatkozik.

2.1. NYOMÓSZILÁRDSÁGI VIZSGÁLATOK

Kis testsűrűségük, nagy porozitásuk és összenyomhatóságuk miatt a hőszigetelő anyagok nyomófeszültség miatti tönkremenetelét néhány kivételtől eltekintve általában a túlzott összenyomódás okozza, ezért nyomószilárdság alatt a 10%-os összenyomódáshoz tartozó nyomófeszültséget értjük. Vizsgálata a 20×20 cm méretű próbatesteken, MSZ EN 826:2013 szabvány szerint történt (**1. ábra**), közvetlenül a kondicionálási idő letelte után. Az eredményeket a **4. táblázat** mutatja be [12].

Az expandált polisztirolhab esetében egyértelmű bizonyosságot nyert a hőmérséklet és páratartalom együttes emelkedésének nyomószilárdságra gyakorolt negatív hatása. A hőmérséklet 50 °C-ra való emelése önmagában 4,41% szilárdságcsökkenést okozott, ez az érték 70 °C-on már 15,10% volt. A magas hőmérséklet és páratartalom együttes hatása tovább rontott a szilárdsági paramétereken (50 °C-on 11,18%-kal, 70 °C-on 29,18%-kal). Megfigyelhető volt, hogy a páratartalom növelése önmagában nem okozott szilárdságcsökkenést, sőt, 8,01%-kal még nőtt is az értéke. Mindez annak tulajdonítható, hogy az anyag nyitott pórusaiba beszivárgó nedvesség nem összenyomható (ellenben a levegővel, ami eredetileg a pórusokat kitöltötte), ami csökkentette az anyag alakváltozási képességét és megnövelte a nyomással szembeni ellenálló képességét.

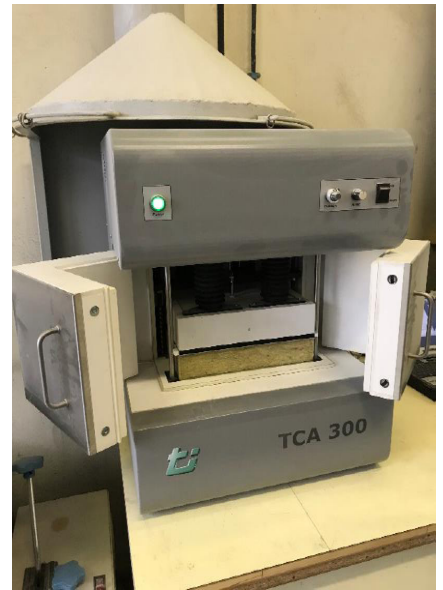
A másik két hőszigetelő anyag esetében nem volt számottevő a hőmérséklet növelésének negatív hatása, a poliure-



1. ÁBRA: EPS minta összenyomódási viselkedésének vizsgálata (fotó: BMN)



2. ÁBRA: EPS minta húzószilárdsági vizsgálata (fotó: BMN)



4. ÁBRA: Kőzetgyapot minta hővezetési tényezőjének vizsgálata (fotó: BMN)

tánhab esetében pedig még egy enyhe szilárdságnövekedés is észlelhető volt (bár az érték a statisztikai hibahatár közelében van, így akár konstansnak is tekinthetjük).

A páratartalom növelése már önmagában is egyértelműen rontott mindhárom anyag nyomószilárdságán. A poliuretánhab esetében a nyomószilárdság-csökkenés elmaradt az expandált polisztirolhab esetén kapott értékektől, ami az eleve jóval nagyobb szilárdságának és a zárt cellaszerkezetének tulajdonítható (aminek következtében eleve kevesebb nedvesség juthatott be az anyagba). A kőzetgyapot esetében a páratartalom növelése önmagában erősen csökkentette a nyomószilárdságot (10,95%, ami a hőmérséklet egyidejű növelésével még drasztikusabbá vált [mindenütt 50%, sőt, valahol 60%, feletti változások észlelhetők]).

Megállapíthatjuk továbbá, hogy magasabb hőmérsékleten valamelyest intenzívebb a páratartalom hatása. A nyomószilárdság ilyen nagymértékű csökkenése mindenképpen figyelemre méltó, főleg olyan beépítési helyzetben, ahol ilyen jellegű terhelésre lehet számítani (pl. járható lapostetők, padló-szerkezetek). Ennek oka az anyagszerkezetben keresendő, ugyanis a szálás hőszigetelő anyagok nedvességfelvétele jelentősen nagyobb, mint a műanyaghaboké.

2.2. HÚZÓSZILÁRDSÁGI VIZSGÁLATOK

A húzószilárdsági vizsgálatok az MSZ EN 1607:2013 szabvány szerint zajlottak 5×5 cm méretű mintákon [14]. Az előírások szerint a mintákat egykomponensű, poliuretán bázisú ragasztóval a vizsgáló berendezés szerszámfejei közé ragasztottuk (2. ábra), majd 48 órás száradási idő elteltével, közvetlenül a kondicionálás után elszakítottuk őket. Az eredményeket az 5. táblázat mutatja be.

Az expandált polisztirolhab esetében kismértékű húzószilárdság csökkenés volt megfigyelhető. A nyomószilárdsági vizsgálathoz hasonlóan a páratartalom növelése önmagában itt sem okozott szilárdságcsökkenés, sőt, 4,69%-os



3. ÁBRA: Poliuretánhab minta nem megfelelő szakadási képe (fotó: BMN)

növekedést hozott. A legszignifikánsabb szilárdságmérés a hőmérséklet és a páratartalom együttes növekedése következtében történt [5,77% csökkenés 50 °C-on és 6,26% csökkenés 70 °C-on].

A poliuretánhab esetében vegyes eredmények születtek. Míg a hőmérséklet növelésével látszólag a húzószilárdság kismértékben csökkenni kezdett, addig a páratartalom változásának hatásában nem figyelhető meg egyértelmű tendencia. Sajnos az eredmények megbízhatóságát az is aláásta, hogy a húzófeszültségre való tönkremenetel nem minden esetben az anyagban történt, hanem a ragasztás mentén. Ennek vélhetően az lehetett az oka, hogy a kondicionálási körülmények befolyásolhatták a ragasztó száradási idejét. Másik lehetséges magyarázat a ragasztó és a kasírozóanyag közötti esetleges elégtelen tapadási érték, ugyanis néhány esetben – főleg magasabb hőmérsékleten – a tönkremenetelt a kasírozóanyag próbatestről való leválása okozta (3. ábra). Ennek érdekében, hogy egyértelmű és megbízható eredményeket kaphassunk, szükséges lenne a vizsgálatot kasírozóanyag nélküli mintákon is elvégezni.

A kőzetgyapot esetében egyértelműen megállapítható, hogy a hőmérséklet növelésével a húzószilárdság nagymértékben lecsökkent [50 °C-on 24,54%-kal, 70 °C-on pedig 31,20%-kal]. Ennek

4. TÁBLÁZAT: A nyomószilárdság változása a környezeti és kitéti hatások következtében az EPS és a kőzetgyapot termékek épülethomlokzaton, a PIR termék lapostetőn és padlószerkezetben történő alkalmazására [13]. Jelmagyarázat: a: referenciaérték;
 b: a referenciaértékhez ($T = 23 \pm 2 \text{ °C}$, $\varphi = 50\%$) viszonyítva, hőmérséklet és nedvesség együttes hatása;
 c: a 4. sor értékeihez viszonyítva ($T = 23 \pm 2 \text{ °C}$, $\varphi = 90\%$), azaz önmagában a hőmérséklet hatása;
 d: a 2. sor értékeihez viszonyítva ($T = 50 \text{ °C}$, $\varphi = 50\%$), azaz önmagában a nedvesség hatása;
 e: a 3. sor értékeihez viszonyítva ($T = 70 \text{ °C}$, $\varphi = 50\%$), azaz önmagában a nedvesség hatása.

sorszám	környezeti és kitéti hatás		EPS		PIR		kőzetgyapot	
	T [°C]	φ [%]	σ_{ny} [kPa]	$\Delta\sigma_{ny}$ [%]	σ_{ny} [kPa]	$\Delta\sigma_{ny}$ [%]	σ_{ny} [kPa]	$\Delta\sigma_{ny}$ [%]
1.	23±2	50	81,32 ^a	-	136,28 ^a	-	16,40 ^a	-
2.	50	50	77,73	-4,41	143,23	+5,10	16,16	-1,46
3.	70	50	69,04	-15,10	143,32	+5,17	16,27	-0,79
4.	23±2	90	87,83	+8,01	129,14	-5,24	14,61	-10,91
5.	50	90	72,23	-11,18 ^b	123,46	-9,41 ^b	6,87	-58,11 ^b
				-17,76 ^c		-4,40 ^c		-52,98 ^c
				-7,08 ^d		-13,80 ^d		-57,49 ^d
6.	70	90	57,59	-29,18 ^b	107,20	-21,34 ^b	6,50	-60,37 ^b
				-34,43 ^c		-16,99 ^c		-55,51 ^c
				-16,58 ^e		-25,20 ^e		-60,05 ^e

5. TÁBLÁZAT: A húzószilárdság változása a környezeti és kitéti hatások következtében az EPS és a kőzetgyapot termékek épülethomlokzaton, a PIR termék lapostetőn és padlószerkezetben történő alkalmazására [13]. Jelmagyarázat: lásd 4. táblázat.

sorszám	környezeti és kitéti hatás		EPS		PIR		kőzetgyapot	
	T [°C]	φ [%]	σ_h [kPa]	$\Delta\sigma_h$ [%]	σ_h [kPa]	$\Delta\sigma_h$ [%]	σ_h [kPa]	$\Delta\sigma_h$ [%]
1.	23±2	50	205,19 ^a	-	79,60 ^a	-	7,66 ^a	-
2.	50	50	205,07	-0,06	82,10	+3,14	5,78	-24,54
3.	70	50	200,55	-2,26	127,14	+59,72	5,27	-31,20
4.	23±2	90	214,81	+4,69	111,23	+39,74	7,67	+0,13
5.	50	90	202,42	-1,35 ^b	64,28	-19,25 ^b	4,53	-40,86 ^b
				-5,77 ^c		-42,21 ^c		-40,94 ^c
				-1,29 ^d		-21,71 ^d		-21,63 ^d
6.	70	90	201,35	-1,87 ^b	83,66	+5,10 ^b	7,30	-4,70 ^b
				-6,26 ^c		-24,79 ^c		-4,82 ^c
				+0,40 ^e		-34,20 ^e		+38,52 ^e

6. TÁBLÁZAT: A hővezetési tényező változása a környezeti és kitéti hatások következtében az EPS és a kőzetgyapot termékek épülethomlokzaton, a PIR termék lapostetőn és padlószerkezetben történő alkalmazására [13]. Jelmagyarázat: lásd 4. táblázat.

sorszám	környezeti és kitéti hatás		EPS		PIR		kőzetgyapot	
	T [°C]	φ [%]	λ (W/mK)	$\Delta\lambda$ [%]	λ (W/mK)	$\Delta\lambda$ [%]	λ (W/mK)	$\Delta\lambda$ [%]
1.	23±2	50	0,03739 ^a	-	0,01710 ^a	-	0,03385 ^a	-
2.	50	50	0,03739	±0,00	0,01782	+4,21	0,03328	-1,68
3.	70	50	0,03745	+0,16	0,01820	+6,43	0,03362	-0,68
4.	23±2	90	0,03853	+3,05	0,01666	-2,57	0,03351	-1,03
5.	50	90	0,03817	+2,09 ^b	0,01789	+4,62 ^b	0,03401	+0,47 ^b
				-0,93 ^c		+7,38 ^c		+1,49 ^c
				+2,09 ^d		+0,39 ^d		+2,19 ^d
6.	70	90	0,03735	-0,11 ^b	0,02102	+22,93 ^b	0,03384	-0,03 ^b
				-3,06 ^c		+26,17 ^c		+0,98 ^c
				-0,27 ^e		+15,49 ^e		+0,65 ^e

oka minden valószínűséggel a szálak összeragasztására használt kötőanyag meglágyulása. A páratartalom emelkedésének hatása már nem volt ennyire egyértelmű, ugyanis önmagában annak 50%-ról 90%-ra való növelése nem okozott szilárdságcsökkenést. A mérési eredmények azonban meglehetősen nagy szórást mutattak, ezért a szabványos előírástól eltérő, nagyobb mennyiségű próbatest készült. A páratartalom és a hőmérséklet együttes növekedése már sokkal látványosabb volt. Érdekes azonban, hogy míg 90% relatív páratartalom mellett 50 °C-on jelentős szilárdságcsökkenés látható az 50% páratartalomhoz képest [21,63%], addig 70 °C hőmérsékleten jóval kisebb hatás volt kimérhető [4,82%]. Meg kell azonban jegyezni, hogy az anyag húzószilárdsága eleve nagyságrendekkel kisebb a műanyagokhoz képest, így a külső körülmények (pl. a ragasztóanyag nem megfelelő szilárdulása, vagy a kondicionálás, ill. anyagmozgató hatása) jelentős befolyással lehetnek a végeredményre.

2.3. A HŐVEZETÉSI TÉNYEZŐ VIZSGÁLATA

A hővezetési tényező vizsgálatát az MSZ EN 12667:2001 szabvány szerint, Taurus TCA 300 hővezetési képesség mérő készülék segítségével hajtottuk végre (4. ábra) a kondicionálást követő 4 órán belül [15]. A méréshez 30×30 cm méretű minták készültek. Az eredményeket a 6. táblázat mutatja be.

A kőzetgyapot esetében elhanyagolható (legtöbbször 1% alatti) változások történtek. Az expandált polisztirolhab esetében a 90% páratartalom mellett kondicionált mintáknál ugyan jelentkezett kisebb [2,09-3,06%] változás, de még ez sem tekinthető számottevőnek. Egyedül a poliuretánhab esetében mutatkoztak egyértelmű változások, ráadásul 70 °C hőmérsékleten és 90% relatív páratartalom mellett megfigyelhető volt, hogy néhány próbatestnél a kasírozóanyag felhólyagosodott (5. ábra).

A legnagyobb hővezetési tényező változást a két modellezett körülmény együttes hatása okozta. A jelenség leginkább a vizsgálati körülményekkel és magával a módszerrel is magyarázható. Bár a vizsgálat megkezdése a kondi-

cionálás után azonnal, vagy viszonylag rövid időn belül történt, azonban a mérés rendkívül időigényes (kb. 2-3 órá). Ráadásul a mérés technológiájából adódóan vizsgálat közben nem biztosíthatók a kondicionálási körülmények. Ebből következik, hogy a mérés időtartama alatt – főleg magasabb hőmérsékleteken – a kondicionálás során felvett nedvesség egy része eltávozhatott az anyagból. Ennek mértékét az anyag szerkezete befolyásolja. A nedvesség a szálak anyagokból képes a leggyorsabban távozni, vélhetően emiatt nem változott a hővezetési tényező még 90% páratartalom következtében sem. A nyitott cellás műanyagabból a nedvesség már jóval lassabban tud távozni, de még mindig elég könnyen ahhoz, hogy csak minimális hőszigetelő képesség változás jelentkezzen. A zártcellás szerkezetű poliuretánhab ugyan kevesebb nedvességet tud felvenni, viszont a felvett nedvesség lassan is távozik belőle. Ennek tulajdonítható, hogy a vizsgált anyagok közül a poliuretánhab hővezetési tényezője változott legnagyobb mértékben a páratartalom emelkedése miatt.

A fentiekből következik, hogy az alkalmazott mérési módszer inkább csak azt képes kimutatni, hogy az adott ideig történő kondicionálás okoz-e maradandó változást a hőszigetelő anyagok hővezetési tényezőjében, ha a kondicionálás után visszakerül normál laboratóriumi körülmények közé. Az eszköz arra kevésbé alkalmas, hogy vizsgálható legyen az anyagtulajdonság a kondicionálási állapotban, mivel a vizsgálat időigényes és a mérőeszköz sem képes arra, hogy a kondicionálási körülményeket a vizsgálat teljes időtartama alatt fenntartsa. A vizsgálatot érdemes



5. ÁBRA: A kasírozóanyag felhólyagosodása az egyik poliuretánhab mintán (fotó: BMN)

lenne úgy megismételni, hogy vizsgálat közben ne tudjon a felvett nedvesség távozni. Más kutatók tapasztalatai alapján megoldás jelenthetne a kondicionálást követően a próbatest műanyag fóliába való csomagolása [10].

3. | ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatás azt célozta, hogy kísérleti úton információkat szerezzünk arról, miként változnak a három leggyakrabban alkalmazott hőszigetelő anyag (EPS, kőzetgyapot és PIR) legfontosabb anyagtulajdonságai (húzó- és nyomószilárdsága, hővezetési tényezője), ha lapostetőn vagy homlokzaton építjük be őket és a kivitelezés vagy üzemelés közben (pl. szerkezeti hiba vagy sérülés következtében) a laboratóriumi körülményektől eltérő nedvesség- és/vagy hőterhelés éri őket. Ennek érdekében az elvégzett szabványos vizsgálatok előtt a próbatesteket olyan körülmények között kondicionáltuk, melyek megfelelően modellezik a valós, beépítési körülmények között elszennvedhető környezeti hatásokat. Mivel a vizsgált termékek a gyártói ajánlások szerint nem alkalmasak mindkét felhasználási módra, ezért a felhasználás szempontjából nem mindegyik anyagtulajdonság releváns. Az ajánlott beépítési módtól eltérő körülmények között mért értékekből csak tendencia jellegű megállapítások vonhatók le.

A nyomószilárdsági vizsgálatok eredménye azt mutatta, hogy a poliuretánhab és a kőzetgyapot ezen tulajdonsága nem érzékeny a hőmérséklet emelkedésére, míg az expandált polisztirolhab jelentős nyomószilárdság csökkenésével kell számolni. A páratartalom változása mindhárom anyag nyomószilárdságát befolyásolta, legkevésbé a poliuretánhabét, legnagyobb mértékben pedig a kőzetgyapotét.

A vizsgálatokból az is kiderült, hogy sem a hőmérséklet, sem a páratartalom változása nem csökkenti jelentősen az expandált polisztirolhab húzószilárdságát. Kőzetgyapot esetében a hőmérséklet és a páratartalom hatása egyaránt kimutatható volt. Poliuretánhab esetében vegyes eredmények születtek, ezért szükséges lenne egyes vizsgálatokat a kasírozóanyag eltávolítása után is elvégezni.

A hővezetési tényező vizsgálatok eredményei leginkább a poliuretánhab esetében voltak egyértelműen kiértekelhetőek, ahol mind a hőmérséklet, mind a páratartalom változása kimutatható volt. A másik két anyag esetében csupán az derült ki, hogy az adott idejű kondicionálás utáni kiszáradás nem okoz maradandó hővezetési tényező változást bennük. Érdeemes lenne a vizsgálatot a kondicionálás során felvett nedvesség anyagból történő eltávolításának megakadályozásával (pl. fóliába csomagolás) megismételni.

További kutatás során érdemes lenne megvizsgálni, hogy az adott kondicionálás után történő nyomószilárdságvizsgálat mekkora maradó alakváltozást okoz az anyagban, valamint megfontolni hosszabb kondicionálási idő alkalmazását, amivel az anyagban lezajló hosszútávú változások jobban kimutathatók lennének. A vizsgálatokat ki lehetne terjeszteni magasabb szilárdsági osztályú, lapostetőn is alkalmazható expandált polisztirolhab (pl. EPS 100) és kőzetgyapot termékekre, valamint homlokzati hőszigetelésre ajánlott PIR termékekre a többi termékkel való jobb összehasonlíthatóság miatt (pl. lapostető, padlószervezet).

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **Ben Pontin:** Integrated pollution control in Victorian Britain – Rethinking progress within the history of environmental law. *Journal of Environmental Law*, vol. 19, no. 2, 2007, pp. 173-199. <http://www.jstor.org/stable/44248597>

[2] **John Baylis, Steve Smith:** *The Globalization of World Politics* [3rd ed.]. Oxford University Press, Oxford (UK), 2005, pp. 454–455.

[3] **Thibaut Abergel, John Dulac, Ian Hamilton, Maxine Jordan, Aparna Pradeep (eds.):** 2019 Global Status Report for Buildings and Construction – Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector. International Energy Agency (IEA) for the Global Alliance for Buildings and Construction (GlobalABC), 2019, 41 p. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30950/2019GSR.pdf>

[4] **Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal:** Energiastatisztika 2020. éves riport. MEKH, 2021, 13 p.

[5] **Milan Porhinčák, Adriana Eštoková, Silvia Vilčeková:** Comparison of environmental impact of building materials of three residential buildings. *Pollack Periodica*, vol. 6, no. 3, 2008, pp. 53-62. <https://doi.org/10.1556/pollack.6.2011.3.5>

[6] **Mattheos Santamouris, Konstantina Vasila-kopoulou:** Present and future energy consumption of buildings – Challenges and opportunities towards decarbonisation. *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, vol. 1, 2021, 100002, 32 p. <https://doi.org/10.1016/j.prime.2021.100002>

[7] **Váradi-Varga Orsolya, Kistelegdi István:** The energy modernization of Mókuskert nursery school in Csurgó. *Pollack Periodica*, vol. 9, no. 1, 2014, pp. 71-80. <https://doi.org/10.1556/pollack.9.2014.1.8>

[8] **Horváth Tamás:** Modernization of modern buildings — Case study on the main building of Széchenyi István University in Győr. *Pollack Periodica*, vol. 4, no. 3, 2009, pp. 67-78. <https://doi.org/10.1556/pollack.4.2009.3.6>

[9] **Bozsaky Dávid:** Építési hőszigetelő anyagok, Terc Kiadó, Budapest, 2017, 220 p. <https://www.terc.hu/konyv/epitesi-hoszigetelo-anyagok>

[10] **Lakatos Ákos, Varga Sándor, Kalmár Ferenc:** The influence of the moisture content in the thermal conductivity of expanded polystyrene insulation materials. In: Ardeshir Mahdavi, Bob Martens (eds.): *Proceedings of the 2nd Central European Symposium on Building Physics*, Vienna (Austria), 2013, pp. 653-656. <https://www.researchgate.net/publication/256486555>

[11] **Jolanta Šadauskienė, Raimondas Bliudzius, Juozas Ramanauskas, Gintarė Gričiūtė:** Analysis of distribution of properties of expanded polystyrene in production and their changes in exploitation conditions. *Materials Science*, vol. 15, no. 4, 2009, pp. 372-376. <https://matsc.ktu.lt/index.php/MatSc/article/view/26179>

[12] **MSZ EN 826:2013** Hőszigetelő termékek épületekhez. Az összenyomódási viselkedés meghatározása

[13] **Bedő Mózes Norbert:** Hőszigetelő anyagok tulajdonság változásainak összehasonlító vizsgálata különböző hőmérsékleti és nedvességviszonyok mellett [BSc szakdolgozat]. Széchenyi István Egyetem, Győr, 2021, 75 p.

[14] **MSZ EN 1607:2013** Hőszigetelő termékek épületekhez. A húzószilárdság meghatározása a sík felületre merőlegesen

[15] **MSZ EN 12667:2001** Építési anyagok és termékek hőtechnikai viselkedése. A hővezetési ellenállás meghatározása segédűtőlapos és hőárammérős eljárással. Nagy és közepes hővezetési ellenállású termékek

Dr. Antal Ákos*

IN MEMORIAM KISFALUSI GÁBOR ÉS DR. LISZIEWICZ ANTAL MŰSZERTERVEZŐK

IN MEMORIAM GÁBOR KISFALUSI AND DR. ANTAL LISZIEWICZ INSTRUMENT DESIGNERS**KIVONAT / HUN**

A Magyar Optikai Művek megszűnése óta már eltelt közel egy negyedszázad, így a hozzá kapcsolódó emlékek a hazai ipartörténet részei. A magyar fejlesztésű és gyártású, geodéziai műszerek különböző típusainak sorozatgyártása a vállalatnál a tizenkilencedik század hetvenes éveiben kezdődött, a legsikeresebb műszereket a múlt század második felében gyártották. A műszerek sikeres alkalmazásának alapja a gondos tervezés, a magas színvonalú gyártás és a jól szervezett értékesítés volt. Ezt egy válogatott fejlesztőkből álló csapat biztosította. A vállalati indíttatású és rendkívül sikeres innovációs – és napjainkban is sok tanulsággal szolgáló – folyamat mai szemmel különösen aktuális. A még élő szemtanúk közül a tavalyi esztendőben a vállalat két meghatározó tervezője, a magyar geodéziai műszergyártás fénykorának legendás alakja távozott köreinkből, Kisfalusi Gábor, a geodéziai, illetve dr. Lisziewicz Antal az optikai szerkesztés volt munkatársa. Emléküket, az általuk tervezett műszereket és speciális optikai rendszereket a Magyar Optikai Művek Emlékalapítvány őrzi.

Kulcsszavak: Magyar Optikai Művek, geodéziai műszertervezés, optikai rendszertervezés, optikai ipar, műszergyártás

ABSTRACT / ENG

Nearly a quarter of a century has passed since the termination of Hungarian Optical Works, so the memories associated with it are part of Hungarian industrial history. The series production of various types of geodetic instruments developed and manufactured in Hungary began at the company in the seventies of the nineteenth century, the most successful instruments were produced in the second half of the last century. The success of the instruments was based on careful design, high quality production and well-organised sales. This was guaranteed by a team of selected developers. This process of enterprise-driven and highly successful innovation is particularly relevant today. Last year, two key designers of the company, legendary figures of the successful era of the Hungarian geodetic instrument industry passed away, the mechanical designer Gábor Kisfalusi, and the optical designer dr. Antal Lisziewicz. Their memory, the instruments and special optical systems they designed are preserved by the Hungarian Optical Works Memorial Foundation.

Keywords: Hungarian Optical Works, design of surveying instruments, optical system design, optical industry, instrument manufacturing

* okl. gépészmérnök, PhD, egyetemi adjunktus, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék, e-mail: antal.akos@mogi.bme.hu



1. ÁBRA:
A Magyar Optikai Művek
látképe 1965-ből
(a MOM Emlékalapítvány
archívumából)

1. | ELŐZMÉNYEK: A VÁLLALAT

A tizenkilencedik században dinamikus fejlődésnek induló nagyüzemi termelés az igényes technológiához nélkülözhetetlen műszerek gyártása irányába határozott mennyiségi és minőségi igénnyel lépett fel, ez az optikai ipar területén is éreztette hatását; már akkor is nyilvánvaló volt, hogy a hatékony működéséhez elengedhetetlen a finommechanikai gyártó háttér. Ebbe a folyamatba illeszkedik és erre az időszakra tehető a magyar ipar szempontjából meghatározó jelentőségű Magyar Optikai Művek elődjének létrejötte is. Előzmény, hogy 1876-ban a Kolozsvári Egyetem dékánja, az akkori vallás és közoktatási miniszter közbenjárásával Süss Nándor marburgi mechanikust hívta meg az egyetem kutató-kísérleti részlegébe, elsősorban az ilyen irányú szakemberképzés előmozdítása és az oktatáshoz, kutatáshoz szükséges műszerpark kiépítése céljából.

1884-ben Eötvös Loránd közreműködésével, állami támogatással Süss Nándor a fővárosba helyezte át tevékenységét, mechanikai tanműhelyt rendezett be, ahova munkatársai is követték. Itt készültek többek között Eötvös később elhíresült torziós ingái és egyéb mérőberendezések is. A Mozsár utcai intézmény gyorsan fejlődött, ezért Süss Nándor 1891-ben megvásárolta az Alkotás utcai házat, és az egész intézményt oda telepítette, mely 1895-re már több mint ötven főt alkalmazott. 1900-ra kinőtte a tanműhely kereteket, és megszűnt az állami támogatás, ezért a tulajdonos azt Süss Nándor-féle Precíziós Mechanikai Intézet néven gazdasági társasággá alakította át. 1905-ben költöztek át a Csörsz utcában kialakított telephelyre, mely a vállalatnak egészen 1996-ig adott otthont, melyet 1998-ban jogutód nélküli végelszámolással szüntettek meg.

1939-től használták a Magyar Optikai Művek **(1. ábra)** nevet, és ezen a néven lett világvizonylatban is ismert optikai-

finommechanikai nagyvállalat. Fontos momentum, hogy 1921-ben megvették a Goerz cégtől az optikai üvegcsiszolás licencét, mellyel kezdetét vette az optikai rendszerek – és ezen felül a geodéziai műszerek – korszerű gyártása. A második világháború után háborús jóvátételként a vállalat szovjet tulajdonba került, ami egészen 1952-ig tartott. A vezetést 1957-től Posch Gyula vette át, megindultak a minőségi finommechanikai és optikai gyártmányok gyártását szolgáló beruházások. Fokozottan érdekelt lett a vállalat vezetése az értékesítésben, csak eladható és bizonyíthatóan nyereséget eredményező termékek gyártására koncentráltak, a gazdálkodás előtérbe került, ennek lett alárendelve a műszaki-fejlesztési, a termelési és kereskedelmi tevékenység.

A katonai, geodéziai és tudományos optikai műszerek mellett 1960-tól tovább bővült a gyártmánycsoportok köre, elkezdődött a laborműszerek gyártása. A fejlesztés és az innováció mindig is a vállalat egyik erőssége volt, amit számos rangos állami kitüntetés is igazolt. Jelentős eredményt értek el a száloptika gyártásának magyarországi meghonosításában, ezért kutatóik – dr. Lisziewicz Antal, Hegyessy Géza és Besskó Dezső – 1975-ben állami díjban részesültek. A geodéziai műszerek fejlesztése terén végzett kiváló munkájukért több munkatársuk – Bors Károly, Bezzegh László, Schinagl Ferenc, Pusztai Ferenc – Kossuth-díjat kapott. A kilencvenes évek változásai a vállalat sorsát megpecsételték, emlékét a Magyar Optikai Művek Emlékalapítvány őrzi és ápolja, nevét néhány megmaradt utódvállalat viszi tovább.

A még működő vállalat meghatározó összetevője volt – az európai viszonylatban amúgy nem jelentős – magyar műszeriparnak, nevét több sorozatban gyártott sikerterméke tette ismerté. Termékpalettáján a kezdetektől kiemelt helyen szerepeltek a geodéziai műszerek, sikerük kulcsa a mai szemmel is rendkívül innovatívnak tekinthető fejlesztőgárda, illetve az igényes, magas technológiai fegyelmet garantáló gyártás volt.



2. ÁBRA:
Kisfalusi Gábor
(a felvételt Kisfalusi Edit
bocsátotta rendelkezésre)

2. | KISFALUSI GÁBOR (1942–2022)

Kisfalusi Gábor **(2. ábra)** 1942. augusztus 7-én született Budapesten. A Bánki Donát Gépipari Technikum elvégzése után 1960-ban, a Magyar Optikai Műveknél kezdett dolgozni gyakornok-technikusként a nagyforgácsoló műhelyben. Innen jelentkezett a Budapesti Műszaki Egyetemre. 1961 szeptemberében beiratkozott a Gépészmérnöki Kar nappali tagozatára. Tanulmányaihoz vállalati ösztöndíjat is kapott. 1966-ban szerezte meg diplomáját, témavezetője a Finommechanika-Optika Tanszék akkori vezetője, a magyar finommechanikai-optikai műszertervezés kimagasló alakja, dr. Bárány Nándor volt. Diplomatervének témája, a Magyar Optikai Művek részére tervezett automatikus optikai függélyező volt. A terveket a

vállalat geodéziai szerkesztési osztályán készítette, ahol szoros szakmai kapcsolatba került – az akkor már nemzetközi szinten is elismert, Kossuth-díjas – Pusztai Ferencsel, aki osztályára hívta dolgozni.

Első komolyabb munkája egy fénytengelyes csővezeték-ki-tűző berendezés tervezése volt, amely Tóth Pálnak, a gyár főkonstruktőrének szabadalmán alapult. Ezt követően a fénytáv mérő műszer fejlesztésén dolgozott, majd 1970-től kapcsolódott be a Ko-B1 típusjelű kódteodolit tervezési munkálataiba. Ez volt a világon az első olyan automatikus szögolvasó rendszerrel működő teodolit, amely terepi körülmények között is teljesítette a követelményeket. A műszer mechanikai részét Hollai Kornél, optikáját Lisziewicz Antal, elektronikáját Gyomai László tervezte. A prototípus sikeres gyári és terepi tesztelése után egy négy darabból álló nullszéria készült az irányításával. A négy elkészült műszerből kettőt Csehszlovákiában, kettőt Magyarországon értékesítettek. A Magyar Optikai Művek vezetése mégis úgy döntött, hogy a kódteodolítot a jelentős hazai és külföldi érdeklődés ellenére sem veszi gyártásba.

A Magyar Optikai Művek 1975-ben egy szovjet tervezésű és a Szovjetunióban már gyártott légifelvétel-kiértékelő műszer gyártását vállalta el. A dokumentáció honosítása után a módosított – számítógépről vezérelt – sztereográf **(3. ábra)** mechanikus részének tervezését már a műszergazda önállóan végezte. A gyártás a hetvenes évek közepén indult a zalaegerszegi gyáregységben SzC-1 típusjelzéssel [1] [2].

Az eredetileg a Kossuth-díjas Bors Károly által tervezett és nagy sikereket elért Te-B1 másodpercteodolit harmadik generációjának, a Te-B43-nak **(4. ábra)** is ő volt a tervezője és műszergazdája. A műszer 1981-ben a tavaszi Budapesti Nemzetközi Vásáron BNV-díjat nyert.

A Magyar Optikai Művek átalakulását követően a MOM Finommechanikai és Optikai Rt.-hez került, ahol speciális célokra tervezett giroteodolit fejlesztésében vett részt. Ezt követően a G+D Trade Kft.-ben folytatta munkáját, ahol geodéziai kiegészítő eszközök tervezését végezte. A vállalatot



3. ÁBRA: Az SzC-1 típusú sztereográf (a MOM Emlék-alapítvány archívumából)

1996 márciusában felszámolták, így több mint 35 éves, a Magyar Optikai Műveknél, illetve annak utódvállalatánál végzett munkája véget ért. Ekkor kezdett foglalkozni – önálló tervezőként – a számítógépes tervezéssel. 2000. október 1-jétől az Optilink Kft.-ben holografikus memóriák fejlesztésében vett részt. Negyvenéves szolgálati idő után innen vonult nyugállományba.

Tudását szívesen osztotta meg a szakma iránt érdeklődő fiatalokkal. 1969-től 1973-ig a Bláthy Ottó Híradás és Műszeripari Technikum esti és levelező tagozatán tanított technológiát, matematikát, szakrajtot és műszerelemeket mellékfoglalkozásban. Szakmai téren folyamatosan képezte magát, 1985-től 1987-ig a Budapesti Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Karán a finommechanikai szakmérnöki szakon tanult tovább és 1987-ben szakmérnöki oklevelet szerzett. 1989-től 1998-ig a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Karán, a másoddiplomás hadmérnökhallgatónak az Optikai és finommechanikai alapismeretek elnevezésű tárgyat adta elő.

Kezdő mérnökként együtt dolgozott Gestner Nándorral, aki 1920 óta állt a vállalat alkalmazásában. Ő keltette fel az érdeklődését a régi műszerek, illetve a gyár története iránt. Ilyen irányú érdeklődését később kiválóan tudta hasznosítani, így amikor 2007-ben a Magyar Optikai Művek Emlékalapítvány kurátora lett, bekapcsolódott a vállalat múltjának feltárását célzó kutatásokba, melyeket a tőle megszokott nagyfokú alaposággal végzett, sok – addig ismeretlen, vagy tévesen publikált – tény tudott pontosítani. Az eredményeit előadásaiiban, folyóirat cikkeiben [3] [4] [5], a Magyar Optikai Művek Emlékalapítvány által megjelentetett kiadványokban ismertette. Legfontosabb kutatási eredményeit a 2018-ban megjelent – a gyár történetét feldolgozó – könyvében foglalta össze [6]. Aktív közreműködésének köszönhető, hogy a vállalatot alapító Süss Nándor nevét sétány viseli a MOM-park területén. Kisfalusi Gábor 2022. április 6-án, életének 80. évében hunyt el, örök nyugalomra 2022. május 24-én helyezték a kelenföldi Szent Gellért plébániatemplom urnatemetőjében.



4. ÁBRA: A Bors Károly által tervezett Te-B1 másodpercteodolit és továbbfejlesztett változatai, a Te-B23 és a Te-B43 a Magyar Optikai Művek Emlékalapítvány gyűjteményében (AA)



5. ÁBRA:
Dr. Lisziewicz Antal
2021. október 9-én a
MOM Emlékalapítvány
ünnepségén (AA)

3. | LISZIEWICZ ANTAL (1932–2022)

Lisziewicz Antal (5. ábra), a Magyar Optikai Művek egyik meghatározó optikai tervezője. 1932. november 11-én született Budapesten. Középiskolai tanulmányait a budapesti Református Gimnáziumban végezte, majd az Eötvös Loránd Tudomány Egyetem Matematikai - Fizikai - Kémiai Kar alkalmazott matematikus szakára nyert felvételt. Már az egyetemi évek alatt bekapcsolódott az MTA Alkalmazott Matematikai Intézete Elektrotechnikai Csoportjának kutatómunkájába, ahol nagysebességű relék behúzási idejének meghatározásával foglalkozott. Egyetemi tanulmányait 1955 júniusában fejezte be, és még abban az évben a Magyar Optikai Műveknél az optikai szerkesztési osztályon helyezkedett el, ide kötötte az Optikai rendszerek tervezése című diplomamunkája is. 1955 és 1957 között optikai szerkesztő, 1957-től 1967-ig geodéziai csoportvezető, majd 1967-től 1974-ig az optikai szerkesztés osztályvezetője, 1974 és 1981 között a magyar Optikai Művek Központi Optikai Laboratóriumának főosztályvezetője, 1981-től az optikai szerkesztési osztály főkonstruktorja volt.

Dr. Vörösmarthy Dániel szemésszel született 1962-ben az első szabadalma [7], egy különösen nagy fényerejű lencse, mely a napot képezte le a szem belepő felületére. Lektorálta Vörösmarthy 1974-ben megjelent, A szem optikája című könyvét [8]. Munkáját a Magyar Optikai Műveknél optikai rendszerek tervezésének elméleti es gyakorlati kérdéseivel kezdte. 1957-től részt vesz a MOM korszerű geodéziai műszereinek kialakításában. Jelentősebb konstrukciói közé tartozik a Te-C1 teodolit távcsöve és leolvasó rendszere, az Ni-A1, Ni-A3 felsőrendű szintező távcsövei és optikai rendszerei, valamint több gíroszkópos teodolit (6. ábra) optikai konstrukciója. A tervezési munkák mellett foglalkozott a műszerek sorozatgyártásának és ellenőrzésének problémáival, melyek közül kiemelkedő volt a körosztáshibák vizsgálata terén kifejtett tevékenysége. Ezt követően feladata volt a számítógépek optikai rendszerek tervezésénél történő

alkalmazásának módszertani megalapozása és gyakorlati bevezetése, melyhez lineáris, illetve nemlineáris magasabb fokú egyenletrendszerek megoldásának elméletére alapozott tervezési és optimalizációs módszereket dolgozott ki. Összeállított több automatikus korrigáló programot, melyek segítségével különböző felhasználási területekhez alkalmazott optikai rendszerek – elsősorban objektívek és okulárok – készültek.

1963-tól kezdett foglalkozni a száloptika hazai gyártásának megvalósításával. 1964 tavaszán a Budapesti Nemzetközi Vásáron mutatta be a Magyar Optikai Művek a fény és a képtovábbító száloptikai kötegeit. Ez nemcsak hazai, hanem nemzetközi sikerek is számított. Ezért 1975-ben Lisziewicz – már mint a Magyar Optikai Művek főosztályvezetője –, Hegyessy Géza, a MOM száloptikai osztályvezetője és Besskó Dezső laboratóriumvezető, egyenlő arányban megosztva, a száloptika kifejlesztéséért és hazai gyártásának megszervezéséért, feltalálói tevékenységükért az Állami-díj II. fokozatában részesültek. Ezt követően – a Magyar Optikai Művek Kutatási Főosztálya vezetőjeként –, az eddigi munkaköre több terméktípus tervezésével bővült. A 80-as években kapcsolódott be a Magyar Optikai Művek ultracentrifugájának optikai rendszerfejlesztésébe [9] [10] [11] [12]. Változatlanul tovább foglalkozott a geodéziai műszerek speciális problémáinak megoldásával [13] [14]. Bekapcsolódott a különleges geodéziai feladatokra is alkalmas nagy pontosságú műszerek optikai rendszerének és az ahhoz tartozó automatikus irányvonal szabályzó [15] szerkezeti kialakításának munkálataiba, illetve az irányzótávcsövek újabb változatainak [16] tervezésébe. Számos szellemes megoldással járult hozzá az akkor már egyre szélesebb körben terjedő lézeralkalmazások piacképesebbé [17] tételéhez, de tervezett speciális célú optikai rendszereket is [18] [19].

A hatvanas évek végétől, illetve a hetvenes évek elejétől kezdett foglalkozni az optikai vékonyrétegekkel [20], elsősorban az optikai rendszerekkel szemben támasztott magasabb követelmények kielégítése céljából, először csak elméleti és konstrukciós kérdésekkel és az ezzel kapcsolatos számítási módszerek [21] kidolgozásával, majd e rendszerek minősítő és mérési problémáival, 1975-től pedig a gyártási technológiák kialakításával. Munkatársaival kidolgozták a lézertükrök és a szélessávú reflexiócsökkentő rétegek sorozatgyártásának technológiáját. 1972-től kapcsolódik be témafelelősként az OMFB támogatású – az optikai memóriák kutatását-fejlesztését célzó –, közös KFKI-MOM programba. E munka keretén belül tervezett különböző célú koherens optikai eszközöket; nyalábtágítókat, Fourier-optikát. 1977-től 1982-ig az Optikai, Akusztikai, Film- és Színháztechnikai Tudományos Egyesület Optikai Szakosztályának elnöke volt.

Az addigi tudományos és szakmai eredményeire alapozva kérte [22] a Magyar Tudományos Akadémia Tudományos Minősítő Bizottságától a tudományok kandidátusa fokozat megszerzésére irányuló cselekmény lefolytatásának engedélyezését. A munkahelyi vitára a Műegyetem Finommechanika-Optika Tanszékén 1982. április 27-én került sor [23]. A vitán a vállalat részéről megjelent Újváry Imre, Hegyessy Géza és Eiben Ágoston. Az 1983. október 11-én tartott sikeres nyilvános vitán a bírálók – Fialovszky Lajos és Bernolák Kálmán – a fokozat odaítélésére tettek javaslatot, azt az Alpár Gyula vezette bizottság – melynek munkájában titkár-



6. ÁBRA: A Gi-B11 giroteodolit és tartozékai (a Magyar Optikai Művek Emlékalapítvány archívumából)

ként Solti Ernő, tagként pedig Kalló Péter, Krauter András és Láng László vettek részt – el is fogadott. Ezt követően, mivel a numerikus analízis szaktudományból a Budapesti Műszaki Egyetem Doktori Szabályzatában rögzített követelményeknek is eleget tett, az Egyetemi Tanács [24] Lisziewicz Antal okleveles alkalmazott matematikus műszaki doktorrá avatására tett javaslatot. 1984. május 7-én doktori fogadalmat tett, és az egyetemi tanács nyilvános ülésén [25] átvehette a 3655. számú [26] doktori oklevelét. A nyolcvanas és a kilencvenes években rendszeresen tartott előadásokat a Budapesti Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Karán optikai rendszerek tervezése témában a matematikus-mérnök szak hallgatói részére.

A múlt század nyolcvanas évei második felében már érezhető volt, hogy az átalakuló, illetve inkább megszűnő hazai műszeriparban a fejlesztéseknek egyre kisebb szerepe lesz. Ez, Lisziewicz Antal eddig folytatott munkájának fokozatos ellehetetlenülését eredményezte, amire válaszul, munkavállalás céljából a kivándorlást választotta. 1986 februárjától az ISCO Precision Optics-nál kezdett [27] főkonstruktőrként speciális optikai rendszerek fejlesztésén dolgozni. Szakmai pályája egyik nagy sikereként 1988-ban Los Angelesben az Oscar-díjjal egy időben kiosztott Academy Awards díjban [28] részesült – Glenn M. Berggrennel együtt – az Ultra-Star elnevezésű anamorf felvétel és vetítő objektívek tervezésért. Az ezredforduló után települt vissza, aktívan vett részt a Magyar Optikai Művek Emlékalapítvány munkájában. Életének 90. évében, 2022. június 24-én hunyt el Budapesten, örök nyugalomra 2022. július 14-én helyezték a Balatonalmádi-Vörösberény református temetőben.

4. | ÖSSZEFOGLALÓ

A Magyar Optikai Művek megszűnése után, a helyébe lépő – bizonyos mértékig még innovációs és műszaki fejlesztő tevékenységet is folytató – utódvállalatok a megváltozott és számukra előnytelen gazdasági környezetben nem bizonyultak életképesnek. A vállalat korábbi, rendkívül sikeres fejlesztési tevékenységének tanulmányozása talán szolgálhat részleges tanulságokkal az utókor és a hazai ipartörténet fejezetei iránt érdeklődőknek, továbbá tanulságképpen azoknak, akik az egyedi megoldásokra és kreatív ötletekre épülő, nagy szellemi hányadot tartalmazó és hozzáadott értéket képviselő termékek fejlesztésében, ipari méretű előállításában és értékesítésében látják a gazdasági föllendülés és növekedés jövőbeni útját. A műszaki és gazdasági tanulságok feldolgozásához jelentősen járulhat hozzá Kisfalusi Gábor és Lisziewicz Antal gazdag életművének szakszerű feldolgozása.

HIVATKOZÁSOK

- [1] **Kisfalusi Gábor:** Fotogrammetriai műszergyártás a MOM-ban. In: Imre László (szerk.): Túlélő betűszó, Nyolcvan éves a MOM márkanév (1939-2019). MOM Emlékalapítvány, Budapest, 2021, 29-32. o.
- [2] **Kisfalusi Gábor:** A magyar fotogrammetriai műszergyártásról. Geodézia és Kartográfia, 65. évf. 1-2. sz. [2013] 30. o.
- [3] **Kisfalusi Gábor:** Mikor alapították a Magyar Optikai Műveket? Geodézia és Kartográfia, 72. évf. 6. sz. [2020] 19-23. o.
- [4] **Kisfalusi Gábor:** 110 éve nyitotta meg kapuit a Magyar Optikai Művek a Csörsz utcában. Honismeret, XLIII. évf. 2. sz. [2015] 11-12. o.
- [5] **Kisfalusi Gábor:** A MOM parkban álló Ijazó szobor története. In: Hegyvidéki históriák, Tarsoly Kiadó, Budapest, 2014, 88-92. o.
- [6] **Kisfalusi Gábor:** A Finommechanikai Ipar Meghonosítása Magyarországon. A Magyar Optikai Művek (MOM) Vázlatos Története. Unicus Műhely, Budapest, 2018.
- [7] **Dr. Vörösmarthy Dániel, Lisziewicz Antal:** Fénykoagulátor. Szabadalmi leírás, lajstromszám: 152010 [1962].
- [8] **Dr. Vörösmarthy Dániel, Dr. Györfy István:** A szem optikája. Medicina Könyvkiadó, Budapest, 1974.
- [9] **Lisziewicz Antal:** Abszorpciós optikai rendszer főleg ultracentrifugához. Szabadalmi leírás, lajstromszám: 157678 [1967].
- [10] **Lisziewicz Antal, Ványai László, dr. Fluck Istvánné, Korzsinek Zsuzsa, Szabó Péter, Szalai György, Dudás Ferenc:** Analitikai feltét preparatív ultracentrifugához. Szabadalmi leírás, lajstromszám: 183882 [1978].
- [11] **Lisziewicz Antal, Jaczina István, Nagy István, Radnai László, Sass Gáborné, Szabó Péter, Szovik József:** Szállállító berendezés több csatornás Schlieren optikai rendszerhez, különösen ultracentrifugához. Szabadalmi leírás, lajstromszám: 177231 [1979].
- [12] **Lisziewicz Antal, Korzsinek Zsuzsa, Manuszek József, Sass Gáborné, Szabó Péter, Szovik József:** Interferencia rendszer ultracentrifugához. Szabadalmi leírás, lajstromszám: 17734 [1979].
- [13] **Lisziewicz Antal:** Képegyeztető prizmarendszer. Szabadalmi leírás, lajstromszám: 152408 [1963].
- [14] **Lauber László, Lisziewicz Antal, dr. Nagy Árpád, Zsilinszky László:** Készülék távcső lencserendszer irányvonal ingadozásának mérésére. Szabadalmi leírás, lajstromszám: 157135 [1967].
- [15] **Tóth Pál, Lisziewicz Antal:** Szintezőműszer önműködő irányvonal-szabályozóval. Szabadalmi leírás, lajstromszám: 158759 [1968].
- [16] **Lisziewicz Antal, Korzsinek Zsuzsa, Nagy István, Szalai György, Sass Gáborné, Ványai László, Marcell Márton:** Irányzó távcső. Szabadalmi leírás, lajstromszám: 157682 [1968].
- [17] **Kaspari János, Lánc József, Lisziewicz Antal:** Kisülésre koaxiális elektródájú lézercső. Szabadalmi leírás, lajstromszám: 179037 [1978].
- [18] **Lisziewicz Antal, Korzsinek Zsuzsa, Nagy István, Szalai György, Sass Gáborné, Ványai László:** Kondenzorrendszer adott felület homogén megvilágítására. Szabadalmi leírás, lajstromszám: 177340 [1978].
- [19] **Kovács Gyula, Lisziewicz Antal, Nagy Árpád, dr. Zoller József:** Berendezés profilos, célszerűen kórszimmetrikus munkadarabok különösen sínfutó járműkerek profilja geometriai méreteinek mérésére, illetve alakhűségének ellenőrzésére. Szabadalmi leírás, lajstromszám: 163573 [1971].
- [20] **Lisziewicz Antal:** Szélessávú, reflexiónövelő rétegrendszer. Szabadalmi leírás, lajstromszám: 189901 [1982].
- [21] **Lisziewicz Antal:** Meredek felfutású interferenciaszűrő. Szabadalmi leírás, lajstromszám: 188560 [1981].
- [22] **Lisziewicz Antal:** Módszerek kidolgozása optikai elemek, rendszerek tervezésére, ezen eljárások gyakorlati alkalmazása [Tudományos munkásság tézisszerű összefoglalása], kandidátusi értekezés tézisei, MTA, Bp, 1983.
- [23] **BME:** Jegyzőkönyv Lisziewicz Antal Módszerek kidolgozása optikai elemek, rendszerek tervezésére, ezen eljárások gyakorlati alkalmazása [Tudományos munkásság tézisszerű összefoglalása] című kandidátusi értekezése téziseinek 1982. április 27-én lefolytatott munkahelyi vitájáról, BME, Finommechanika-Optika Tanszék, 1982. április 27.
- [24] **BME:** Egyetemi Tanácsülés 806/1984. sz. az Egyetemi Tanács határozatai az Egyetemi Tanács 1984. május 7-i üléséről, VIII/1983-84. [1984] 914-915. o.
- [25] **BME:** Az 1984. május 7-i doktorrá avatási ünnepség forgatókönyve, Budapesti Műszaki Egyetem, 1984, 3. o.
- [26] **Frank Zsuzsa (szerk.):** A Budapesti Műszaki Egyetem Évkönyve 1984-85 II. kötet, Budapesti Műszaki Egyetem, 1986, 522. o.
- [27] **Dr. Hetényi Pálné (szerk.):** Műszaki és természettudományi ki kicsoda A-Z. Pályaképek magyar és magyarsármazású műszaki és természettudományi szakemberekről, kortársainkról. Országos Műszaki Információs Központ és Könyvtár, 1995, 195. o.
- [28] **Don Franks:** Entertainment awards: a music, cinema, theatre and broadcasting guide, 1928 through 2003, Jefferson, N.C.: McFarland & Co., w2005, 256. o.

Acélszerkezetű tízzszintes irodaház

PINTÉR JÓZSEFNÉ

Budapest belterületén, az V. Október 6. u. 12. sz. alatt épül a Hungarocoop Külkereskedelmi Vállalat irodaháza (1. ábra).

Az irodaház 330 dolgozó munkahelye és magában foglalja a Külkereskedelmi Vállalat szociális igényeit kielégítő tárgyaló és árubemutató helyiségeket is.

A tervezett létesítmény földszint + 9 emeletes foghíjbeépítés. A földszint az utcai beépítési vonaltól a meglévő hátsó garázsig a teljes területet elfoglalja, majd az első ill. második emeletről konzolosan szélesedik az utca és a garázs fölé (2. ábra).

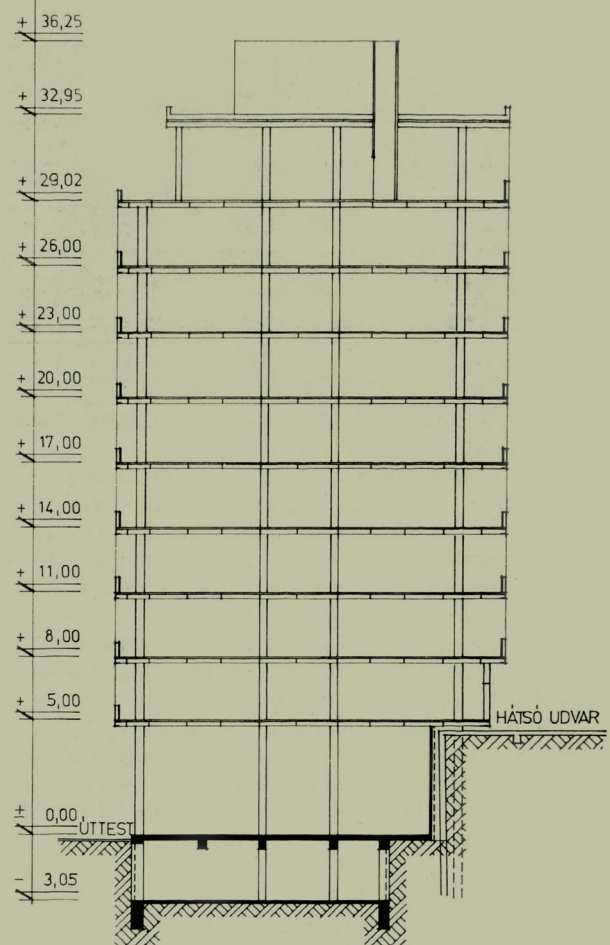
A környezet teljes beépítettsége és az építési terület hiánya miatt, olyan szerkezetet választottunk, amelynek elemei üzemben legyárthatók és helyszínrre-szállításuk után azonnal beemelhetők, könnyen összeszerelhetők, szem előtt tartva a rendelkezésre álló emelőgépek súlyhatárát is.

Ilyen megfontolások alapján az épület a földszinti padlóvonalától felfelé acélvázaz, attól lefelé monolit vasbeton. A beépített térfogat 15 240 légm³.

Az épület erőjátéka az alábbi: a 36,46 m magas épület függőleges terhet szintenként acélgerendákkal alátámasztott előregyártott vasbeton födémpanelekből kialakított födémeik továbbítják az acélpillérekre. A vízszintes szélterhet a szintenkénti födémeik, mint acélgerendákkal merevített vízszintes társák továbbítják a függőleges merevítő szerkezetre: a két határoló monolit vasbeton tűzfalra, illetve a monolit vasbeton lépcső és lift-



1. ábra Az épülő Hungarocoop székház, az Október 6. utcából nézve



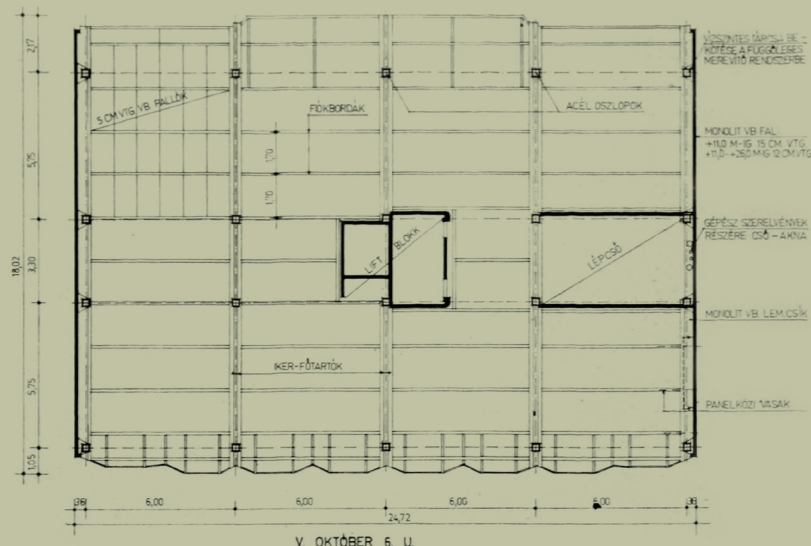
2. ábra. Az épület vázlatos hosszszelvénye

blokkra, melyek a szélnyomást merevségük arányában veszik fel (3. ábra).

Az acélváz pilléreit a VII. emeletig két darab egymással szembefordított []-300-as acélszelvény képezi, 300×300 mm-es konturmérettel, két oldalán a terhelés növekedésének megfelelően változó vastagságú hevederekkel, — az érintkező élek mentén folytonos varrattal végig-hegesztve (4. ábra).

Az oszlopok szintmagasságnak megfelelő hosszban készültek, alul, felül 10 mm vastag talp, ill. fejlemezrel. A beemelés, elhelyezés, pontos függőlegesbe állítás, centrozás után a csatlakozó fej ill. talplemezeket csatlakozó élek mentén körbehegesztik. A VII. emeletről felfelé a pillérek azonos konturmérettel 7 ill. 5 mm-es lemezekből, belülről 1 m-ként lamellákkal merevítve készülnek. A VII. emeletig egy acélpillér átlagsúlya: 415 kg, attól felfelé: 200 kg.

A födémeik főtartói: két darab összetett hegesztett I-szelvényű, 250 mm szelvénymagasságú



3. ábra. Az általános szint szerkezeti vázlata a függőleges monolit vasbeton merevítő rendszerrel

ikertartó, amely gerinc-lemezével a pillérhez simulva, annak talp-lemezére ül (5. ábra).

A kapcsolat a pillér és főtartó között merev, az érintkező élek mentén 8 mm-es folytonos varrattal körbehegesztve. Az iker főtartók alsó és felső övlemezei hevederekkel vannak összekapcsolva 1,50, ill. 2,00 m-eként. Egy főtartó súlya maximálisan: 600 kg.

A főtartók gerinc lemezére a gyártó-üzemben felhegesztették 1,70 m-ként a fiókbordák fogadó szögvaspárjainak egyikét. A másikat a 250 mm szelvény-magasságú összetett hegesztett I-szelvényű fiókbordák elhelyezése után hegesztik fel a helyszínen. A fiókborda és a főtartó kapcsolata csavarozott 5 D minőségű illesztőcsavarokkal. A fióktartók súlya: 230 kg (6. ábra). (Lásd a 4. ábrát is.)

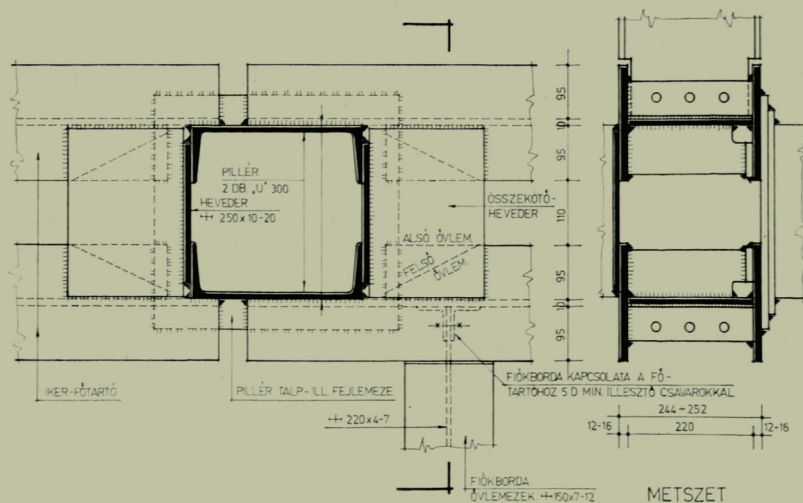
Az acélszerkezet elemeit a Kecskeméti „Fém-munkás” Vállalat gyártotta.

A fiókbordákra habarcterítésre kerülnek a 23. sz. Állami Építőipari Vállalat előregyártó telepén készült előregyártott 5 cm vastag vasbeton födémpanellók B—280—10/3 betonminőséggel.

A födémpanelek megfelelő folytonosságának és a fiókbordákkal, mint merevítő-szerkezettel való

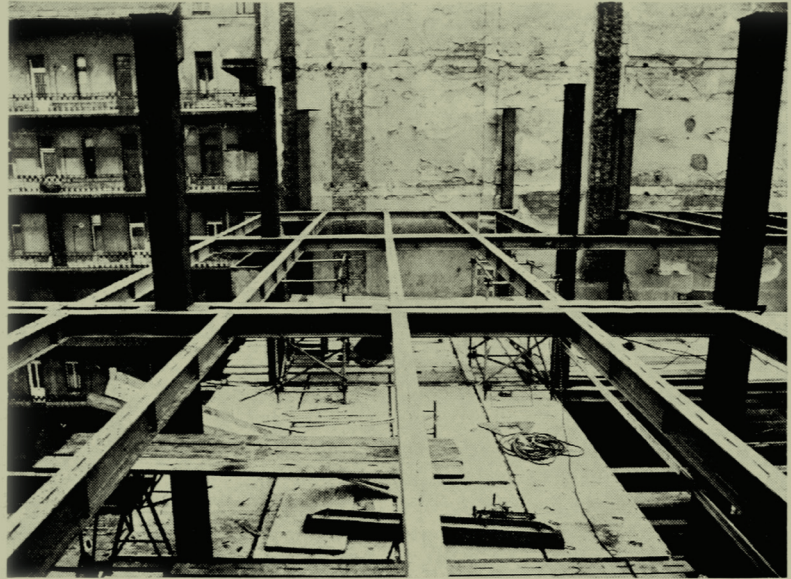


5. ábra. Az egyik ikertartó elhelyezve és ideiglenesen rögzítve



4. ábra. A pillér és iker-főtartó, továbbá a főtartó és fiókborda kapcsolata. A csomópont felülnézete és metszete

6. ábra. A közbelső szint pillér és gerenda váza a szomszédos épület tűzfala felől nézve



7. ábra. A panelek felfekvése a fiókbordára

együtműködésének biztosítása után ezek a vízszintes tárcsák továbbítják a szélterhet az épület monolit vasbeton merevítő szerkezetére. A fentiek érdekében a fiókbordák felső övlemezére tüskesort hegesztettek, melyek benyúlnak a panelközökbe. A panelközi vasakat a panelekből kinyúló tüskék

közé elhelyezve, a panelközöket B—200—10/10 betonnal betonozzák ki (7. ábra).

A főtartók felett, a két panelsor között kialakult lemezsík a helyszínen készül B—200-as betonnól. A panelközi vasakat ezeken átvezetik.

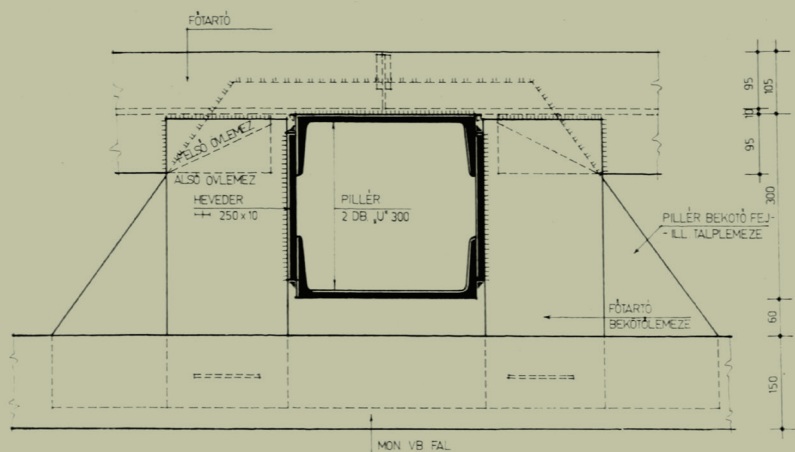
A monolit vasbeton falak és a födém tárcsák kapcsolatát ábrázolja a 8. ábra felülnézetben és a 9. ábra függőleges metszetben.

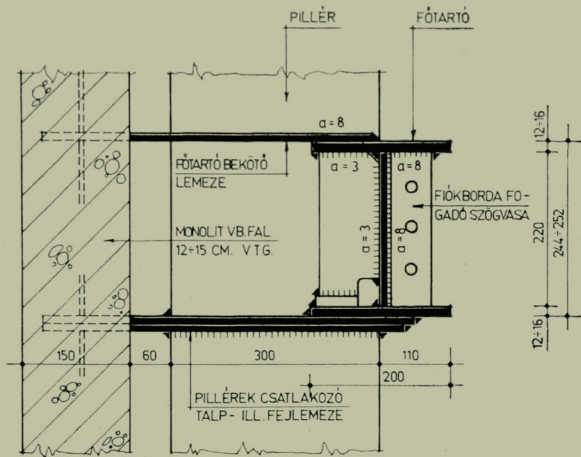
A határoló vasbeton tűzfalak melletti pillérsorok talp- ill. fejlemezei benyúlnak a vasbeton falba, — Ø 16-os ráhegesztett tüskékkel — ezenkívül a főtartók hevederlemezeit, a panelközi vasakat is bevezettük azokba. Ugyanígy a lépcsőházi és lift-akna vasbeton-falaihoz is hozzákapcsoltuk a vízszintes födém tárcsákat.

A 10. ábra az épülő irodaház acélvázát, a 11. ábra a VIII. emelet födémgerendáinak beemelését és mozgatóját szemlélteti födém daruval.

Az acélszerkezet vízszintes elemeinek tűzvédelmét bitumenemulzió alapozásra szórt-eljárással felvitt 2,0 cm vastag azbeszt-réteg, a pillérek tűzvédelmét a pillérek oldalfalára hegesztett tüskesorral rögzített rabitzhálóra felhordott 5 cm vastag betonkéreg biztosítja.

8. ábra. A födém kapcsolata a monolit vasbeton merevítőfallyal (felülnézet)

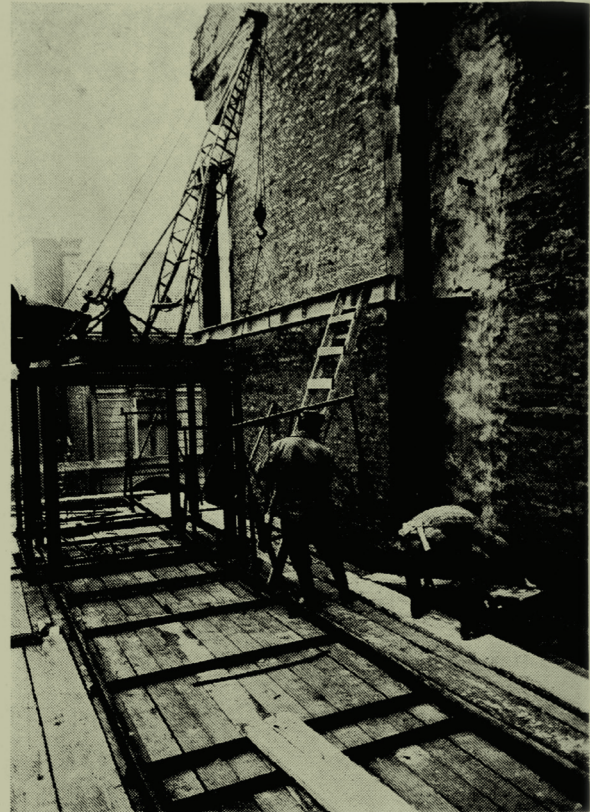




9. ábra. A földm és vasbeton fal kapcsolata, függőleges metszet



10. ábra. Az épülő irodaház acélváza az utca felől nézve



11. ábra. A VIII. em. földmgerendáinak beemelése és mozgatása földmduval

Egy tízzintes ház acéligénye — gyakorlati képlet alapján — $q = (12 + 0,5n) 1,15$, ahol n a szintek száma: adott esetben $n = 10$. — Ezzel számolva $q = (12 + 0,5 \times 10) \cdot 1,15 = 19,6 \text{ kg/m}^3$ vasszükséglet adódik. — A Hungarocoop épület acélszükséglete, a nyomott földmshelvények ellenére is, ennél valamivel kevesebbre adódott.

Badik-Szabó Dániel*

KOMMENTÁR PINTÉR JÓZSEFNÉ „ACÉLSZERKEZETŰ TÍZSZINTES IRODAHÁZ” CÍMŰ, 50 ÉVE MEGJELENT CIKKÉHEZ

COMMENTARY ON THE 50 YEARS AGO PUBLISHED ARTICLE OF PINTÉR JÓZSEFNÉ
“TEN-STORY OFFICE BUILDING WITH STEEL STRUCTURE”

Megtiszteltetéssel vettem a felkérést, hogy 50 év távlatából véleménycikket írjak a Magyar Építőipar visszatekintő sorozatának keretében. E rövid írásban igyekszem több szempontból is vizsgálni mind az épületet, mind a cikket – és a korszellemet, melyben született.

Az épület, melyről az írás szól, az egykori Hungarocoop Külkereskedelmi Vállalat irodaházaként épült, Budapest V. kerületében, az Október 6. utcában. A ma is álló ház jellegzetes pont az utcaképben, homlokzati ritmusában kellő tapintattal érkezett szomszédjai közé egy meglehetősen nehéz építészeti szituációba: balról határozott földszint+4 emeletnyi tömör, vaskos eklektika, jobbról 7 szint finom kézzel rajzolt, leheletnyi Bauhaussal operáló tipikus budapesti középrizalitos, két oldalt íves sarkú erkélyes társasház fogadta. A szintosztás, és annak homlokzati reprezentációja egyaránt alkalmazkodott mindkét szomszédhoz: az impozáns földszint (bár egy félig megbújtatott galériaszinttel is bír) felhúzódik egészen a baloldali, üzlettel belakott pseudoárkádós szint zárópárkányáig, míg a további emeletek a jobbfelől levő emeletmagasságot követik. Érdekesség, hogy a két szomszéd a szintszámok ellenére egymagasságú, a tárgyalt épület azonban mindkettő fölé emelkedik.

Térjünk vissza azonban az eredeti cikk szigorúan vett tartalmához, bár ez a rövid építészeti kitekintés még jelentőséggel bír majd szerkezeti szempontból.

Az acélvázás építés kevésbé terjedt el Magyarországon, mint amit lehetőségei engedtek volna, éppen ezért kuriózumnak számít egy ilyen épület. Rögtön a cikk elején jogos érvelés merül fel emellett az építési mód mellett: a logisztika. Nem is véletlen, hiszen a szűk foghíjbeépítések mindig is az egyik legnehezebb építészeti feladatok közé tartoztak. Egyaránt meg kell ugyanis felelni építészeti, homlokzatképzési, mérnöki, alapozási és nem utolsósorban logisztikai-kivitelezési követelményeknek is. Ezért is mutat rá a szerző az előregyártott szerkezetek alkal-



A cikkben tárgyalt épület, a Budapest, V. kerület, Október 6. utca 12. szám alatt álló irodaház 2022 májusában (Google Street View)

* okl. szerkezettervező építészmérnök; egyetemi tanársegéd, Óbudai Egyetem Ybl Miklós Építéstudományi Kar; doktorandusz, Soproni Egyetem, Cziráki József Faanyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola; e-mail: badik-szabo.daniel@ybl.uni-obuda.hu

mazásának szükségességére, mivel így – az aléptímeny, a liftakna, a lépcsőház és a pofafalak kivételével – kvázi szerelt módon, minimális helyszíni betonozással készülhetett el az épület.

Vessünk még egy rövid pillantást a szomszédok építészeti korának jelentőségére: az alapozás mindig kritikus kérdés a foghíjbeépítéseknél, és mi lehetne összetettebb helyzet, mint egy eklektikus bérház robusztus, téglalapozású, dongázott pincéjű alapsíkját összefésülni egy minden bizonnyal légópincével ellátott '40-es, '50-es évekbeli társasházéval. Ennek köszönhető valószínű, hogy – ahogyan a cikk is hangsúlyozza – a pinceszint és a földszint monolit vasbeton szerkezetű.

Statikai szempontból rendkívül érdekes, hogy mennyire nem változott semmit a pillérvázás épületek „receptje” az elmúlt 50, de talán nem túlzás azt állítani, hogy 100 évben: szükséges egy nagy inerciájú merevítő lift-, vagy lépcsőházi mag, körbevéve pár merevítőfallyal a csavarómerevség érdekében, födémhárcsákkal hárulnak rá a vízszintes terhek, és pont ugyanígy gondolkodunk ma is a legtöbb esetben. Persze ami működik és bevált, azon miért is kéne változtatni?

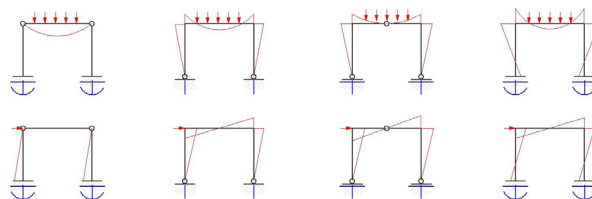
A födémhárcsák kapcsán körüljárandó még egy aspektus: a rendkívül aprólékosan kidolgozott és végletekig anyagtakarékos szelvény-és csomópontképzés, melyet a cikk is részletesen tárgyal: mindez egy más kor más gondolkodásmódjáról, gazdasági berendezkedéséről és mérnöki kihíváskereséséről tanúskodik. Ma, amikor a gyors építés és építőanyagbőség prosperáló időszakában vagyunk, a legfontosabb szempont mindig az idő, vagy a megtérülés [ami a földi élet fenntarthatósága szempontjából, egyáltalán nem biztos, hogy helyes megközelítés]: gyorsan, egyszerűt, bevált megoldásokkal és kevés élőmunkával. Ellenben egy hiánygazdasági, a KGST óvó, ám szűk marokkal osztó karjában ringatott időszakban magától értetődő volt, hogy osztott szelvényű, az igénybevételek csökkenésével arányosan ritkított hevederlemezekkel erősített pillérsort tervezzenek, mivel a munkaerő rendelkezésre állása is alapvetően más volt. Persze, a hengerléstechnológia rengeteget fejlődött azóta, és az osztott U szelvényű szekrénytartók helyett rendelkezésre állnak IPE, HEA, HEB, sőt HEM szelvények. De hol mérünk ma például 5 cm(!) vastag vasbeton födémpaneleket gyártani? Véleményem szerint ebből az épületből, és a létrehozásában szereplő vállalatokból is kitérnek egyfajta elfeledett, irigylendően pozitív értelemben vett kivagyiság: „Hát persze, hogy le tudjuk gyártani!”.

Zárszóként talán ennyit: ez a fajta mérnöki és szakipari szemlélet, jóllehet akkoriban egyértelműen a történelmi kor nyomására is alakult, mégiscsak reneszánszát élhetné újra most, egy másik indokkal: amikor Földünk jövője megingó lábakon látszik állni, és ezt az ingást bizony nagy arányban indukálja az építőipar karbonlábnyoma. Legyen bár az acél az egyik legkörnyezetterhelőbb előállítható építőanyagunk, ha már használjuk, bánjunk vele okosan, gazdaságosan, újrahasznosítható módon!

Kitekintés: Az acél szerepe hazánkban napjainkban

Magyarországon az acél mint építőanyag felhasználása az utóbbi évtizedekben jórészt két területen érvényesült:

Az egyik az előregyártott acélcsarnokok vázszerkezete, mely jórészt szabványos hengerelt acélprofilokból (IPE, HEA, HEB) áll, a szükséges csomópontok megerősítésével. Az efféle csarnokok előnye abban rejlik, hogy a különböző statikai vázú (merevsarkos keret, két-, háromcsuklós tartó vagy oszlop+főtartó) csarnoktípusok közül mindig kiválasztható az adott feladatra és kivitelezési szituációra legalkalmasabb fajta.



Különböző statikai vázú csarnokok nyomatóki viselkedése.
Balról jobbra: oszlop+főtartó, kétszuklós, háromszuklós, befogott

A másik fontos acélfelhasználás a vasbeton szerkezetek betonacél betétei. Bár a végső szerkezeten nem látszanak, hatalmas mennyiségű acél rejlik akár az előregyártott, akár a monolit vasbeton szerkezetekben.

Ezen a két felhasználási módon kívül megemlítenédök még a különleges építmények: ipari épületek és stadionok, melyek gyakorta acélszerkezettel rendelkeznek, de előbbieket az épület funkciójának technológiai sémája, utóbbit pedig a különlegesen nagy térfedések vezetik az acélszerkezetű megoldások felé. Ilyen épületek azonban ritkán épülnek, továbbá általánosságban elmondható, hogy sokszintes acélvázás épületek nem épülnek Magyarországon. Ennek két okát látom:

Egyfelől az acél drága és messziről szállítandó építőanyag, a hazai hengerművek ugyanis más, kisebb szelvényekre és kapacitásra vannak berendezkedve. Olyan szintszámokat továbbá (>20), melyek a magasházak szerkezeteit acélból követelnék meg, nálunk nem alkalmazunk. Ezek az épületek mind megoldhatóak vasbetonból.

Másfelől hazánkban a vasbetonépítésnek nagy hagyománya és megszokottsága van, a kivitelezők rendszerint ilyen képzettségű munkaerőbázissal és gépparkkal bírnak. Az acélszerkezetek építése ezen felül sokkal több precíziós helyszíni szakmunkát (pl.: szerkezeti hegesztések) vagy nagyon részletes tervezésen (LoD 400) alapuló magas fokú előregyártást követel meg, mely újftent magasabb költségeket jelent.

Érdekes szempont továbbá a tűzvédelem, mely az acélszerkezeteknél kritikus szempont. Tudvalevően az acél már igen alacsony (~400 °C) hőmérsékleten veszíteni kezd teherbírából, ami 600 °C-nál már felére csökken. Mindezek okán mindig külön tervezési szempont a tűzvédelem és a hőkélesztetés, a vasbetonszerkezeteket ellenben a betonfedés növelésével jól lehet védeni a tűztől.

