

Teherhordás új alapokon: kompozit falszerkezetek anyagszerkezeti és teljesítményorientált vizsgálata

Load-bearing on new foundations: material-structural and performance-oriented investigation of composite wall structures

SZENDI Dorina¹, Prof. Dr. KÓSA Balázs²

¹Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola, Sopron, Magyarország, VSWG@uni-sopron.hu

²Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, Kreatívipari Intézet, Sopron, Magyarország, kosa.balazs@uni-sopron.hu

Abstract

The paper presents the development of a Liapor lightweight concrete composite wall panel system through a specific industrial case study, based on the ongoing collaboration between Homes4You Készházak Ltd. and the University of Sopron within the framework of the Cooperative Doctoral Program, drawing on the experiences of the currently under-construction Mille-Ház project in Siófok. The study follows the development process from laboratory-scale material testing through full-scale (1:1) wall panel production to on-site assembly validation. The results confirmed the technical potential of the Liapor lightweight concrete composite material system; however, they also demonstrated that industrial applicability is not determined solely by thermal or mechanical performance parameters. Rather, it depends to a comparable extent on the system-level control of the tolerance chain, joint design, the constructability of lacing reinforcement, and the material homogeneity.

Keywords: lightweight aggregate concrete, Liapor, precast wall panels, composite wall structures, tolerance chain, performance-based assessment

Kivonat

A tanulmány a Liapor könnyűbeton kompozit falpanel-rendszer fejlesztését egy konkrét ipari esettanulmányon keresztül mutatja be: a Homes4You Készházak Kft. és a Soproni Egyetem Kooperatív Doktori Program keretében megvalósuló együttműködés részeként, a jelenleg kivitelezés alatt álló siófoki Mille-Ház projekt tapasztalataira építve. A cikk a fejlesztési folyamatot a mintatestes anyagvizsgálatoktól az 1:1 léptékű falpanelgyártáson keresztül egészen a helyszíni szerelési validációig követi. Az eredmények igazolták a Liapor könnyűbeton kompozit anyagkombináció műszaki potenciálját, ugyanakkor rámutattak arra, hogy az ipari alkalmazhatóság nem kizárólag hőtechnikai vagy mechanikai paraméterek kérdése, hanem legalább ilyen mértékben a tűréslánc, a csomóponti kialakítás, a fűzővasalás szerelhetősége, valamint az anyagszerkezeti homogenitás rendszerszintű kontrollján múlik.

Kulcsszavak: könnyűbeton, Liapor, előregyártott falpanel, kompozit falszerkezet, tűréslánc, teljesítmény-alapú értékelés

1. BEVEZETÉS

Egy előregyártott falpanel valós próbája nem a laboratóriumi asztalon, hanem akkor kezdődik, amikor a daru a helyére emeli az elemet, majd a csomópontok összeszerelésekor bebizonyosodik, hogy az előzetesen megtervezett statikai és épületfizikai logika a kivitelezési térben is működőképes. A jelenleg kivitelezés alatt álló siófoki Mille-Ház projekt azért alkalmas kutatási esettanulmányként, mert a fejlesztett Liapor alapú falpanel-rendszer nem elméleti termékmodellként, hanem egy épülő készház szerkezeti valóságában vizsgálható.

A kutatás kiindulópontja az a szakmai felismerés, hogy a fenntartható falazatfejlesztés nem merülhet ki egy kedvezőbb hővezetési tényezőjű vagy kisebb testsűrűségű anyag előállításában. Az előregyártott falszerkezet akkor válik piacképes és minősíthető építőipari terméké, ha a teherhordás, a hő- és páratechnikai viselkedés, az akusztika, a tűzállóság, a gyárthatóság és a szerelhetőség egyetlen ellenőrizhető rendszerben

igazolható. Ezt a szemléletet az EN 14992:2007 +A1 előregyártott falpanelekre vonatkozó termékszabványi logikája is támogatja, mivel a falpanel nemcsak teherhordó elemként, hanem hőtechnikai és akusztikai funkciókat is hordozó épületelemként is értelmezhető [1].

A tanulmány ezért nem kizárólag anyagotani beszámoló. A cikk vezérfonala egy fejlesztési történet: hogyan jut el a Liapor-könnnyűbeton kompozit falazati koncepció a mintatestektől a gyártmányterven és a gyártáson át a siófoki tesztépület helyszíni kivitelezési tapasztalataig, és hogyan válik a helyszíni szerelés a kutatás legfontosabb visszacsatolási pontjává.

2. IPARI HÁTTÉR ÉS ESETTANULMÁNY

A fejlesztés ipari hátterét a Homes4You Készházak Kft. adja, amelynek építési rendszere előregyártott Liapor falpanelekre, gyors helyszíni összeszerelésre és kiszámítható kivitelezési ütemezésre épül. A vállalati gyakorlat szempontjából a falpanel nem önálló gyártmány, hanem épületméretű rendszer: tartalmaz nyílásokat, hornyokat, elektromos kiállások előkészítését és olyan csomóponti kialakításokat, amelyeknek a helyszínen azonnal szerelhetőnek kell lenniük.

A fent említett tesztépület a kutatás számára különösen értékes, mert még nem lezárt referenciaépület, hanem folyamatban lévő validációs terep. Ez módszertani előny: az anyagfejlesztés, a gyártmánytervezés, a helyszíni szerelés és az okfeltárás nem utólagos dokumentációként, hanem a fejlesztési ciklus részeként kapcsolódik össze. A projektben a kutatási kérdés nem az, hogy a Liapor könnyűbeton önmagában megfelel-e a műszaki követelményeknek, hanem az, hogy a Liapor alapú, természetes adalékanyagokat tartalmazó kompozit falszerkezet hogyan tartható kontroll alatt a teljes építési láncban.



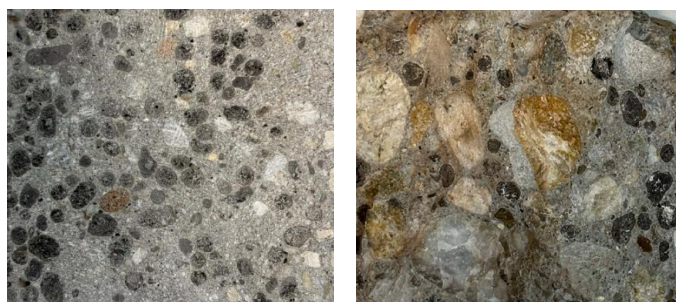
1. ábra. A kutatás léptékváltó fejlesztési logikája

3. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

A kutatási program módszertani felépítése egy egymásra épülő fejlesztési folyamatot követ, amely a követelményrendszer meghatározásától és a keverék- valamint gyárthatósági kísérletektől indul, majd szabványos mintatestvizsgálatokon és 1:1 léptékű falpanel-prototípusokon keresztül jut el a gyártmánytervezéshez, gyártáshoz és a helyszíni szerelési validációhoz. A folyamatot az eredmények kiértékelése és visszacsatolása zárja, amely a következő fejlesztési iteráció alapját képezi. Első lépésben a Liapor könnyűbeton kompozit, valamint a természetes adalékanyag-alapú komponensek műszaki szerepének meghatározása történt meg. A Liapor duzzasztott agyag adalékanyag a testsűrűség csökkentésében, a hőtechnikai paraméterek javításában és a könnyűbeton belső vízutánpótlási potenciáljában kap szerepet [2,3], míg az egyéb kísérleti, természetes alapú komponensek mint például kő, hamu és homok a hő- és akusztikai teljesítmény javításának lehetőségét adják [4].

A Mille-Ház földszinti falpaneljeire vonatkozó teljesítménynyilatkozat alapján a vizsgált termék MSZ EN 14992:2007+A1:2013 szerinti előregyártott beton falpanelként került értékelésre.

A prototípusfázisban az 1:1 léptékű falpanelek gyártmányterv alapján készülnek. A rendszer lényegi csomóponti eleme a nüt-féder élképzés, a méretezett betonacél csomóponti kialakítások, a fűzővasalás és a helyszíni kibetonozás.



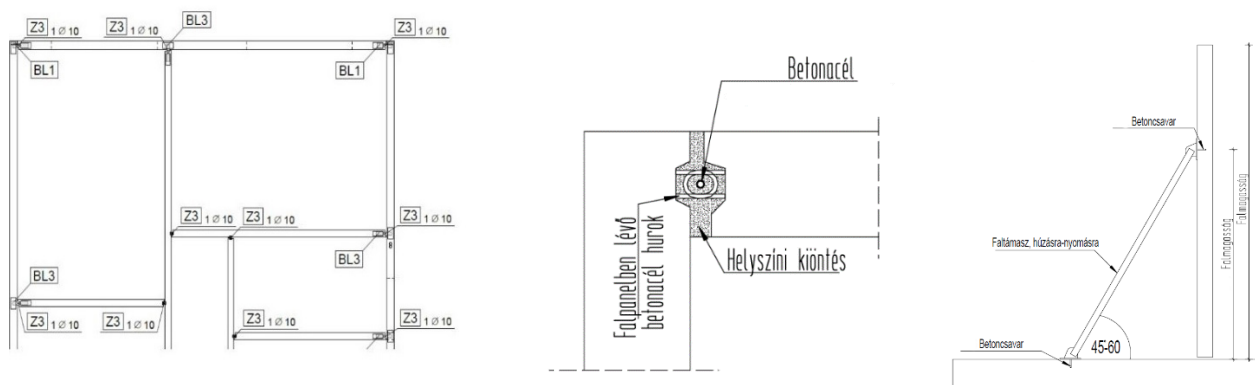
2. ábra. Liapor könnyűbeton mintatestek és felületi anyagszerkezeti mikroszkopikus mérése

4. EREDMÉNYEK ÉS HELYSZÍNI TAPASZTALATOK

A kutatás jelen szakaszában az anyagszintű vizsgálatok fő célja a Liapor könnyűbeton falrendszer receptúrájának optimalizálása volt. A kísérleti sorozatok során a Liapor adalékanyag, a cement, a víz, valamint kiegészítő természetes szemcsés adalékanyagként a folyami kavics aránya változott. A pontos keverési arányok a folyamatban lévő fejlesztési és oltalmi előkészítés miatt nem közölhetők, ugyanakkor az egyes konstellációk teljesítménye a mérési eredmények, a gyártási tapasztalatok, valamint a tesztépület falszerkezetére kiállított teljesítménynyilatkozat alapján értékelhető.

A tesztépület falpaneljeire vonatkozó teljesítménynyilatkozat alapján a vizsgált termék MSZ EN 14992:2007+A1:2013 szerinti előregyártott beton falpanelként került értékelésre. A mérések alapján a geometriai tulajdonságok a gyártmányterv szerinti tőrésen belül vannak; a 28 napos átlagos nyomószilárdság legalább LC25/28, azaz $\geq 28 \text{ N/mm}^2$; a betonacél szakítószilárdsági minimuma $R_m = 550 \text{ N/mm}^2$, folyáshatár-minimuma $ReH = 500 \text{ N/mm}^2$, teljes nyúlása pedig $A_{gt} \geq 5\%$. A vízfelvétel, a fagyállóság, a tűzállósági teljesítmény és a felületi tulajdonságok a mérések alapján megfelelnek, a tűzvédelmi osztály pedig A1-es besorolást kapott [5,6].

A receptúra-optimalizálási kísérletek eredményei alapján a referencia anyaghoz képest magasabb Liapor-tartalmú keverékek kedvezőbb könnyűbeton-jelleget és hőtechnikai tulajdonságokat mutattak, ugyanakkor fokozottabb szegregációs hajlamot és felületi inhomogenitást mutattak [7]. Az extra adalékként folyami kavicsal módosított keverékek ezzel szemben stabilabb szemcsevázat, jobb tömöríthetőséget és kedvezőbb gyárthatósági paramétereket mutattak, ugyanakkor a testsűrűség növekedése miatt a hőtechnikai teljesítmény romlása volt megfigyelhető. A cementmátrix és a víztartalom módosítása elsősorban a kötési stabilitást, a tömöríthetőséget és a felületminőséget befolyásolta.



4. ábra. Csomóponti és szállítási logika:
a tőréslánc kritikus pontjai

A siófoki Mille-Ház projekt helyszíni tapasztalatai igazolták, hogy a valós kivitelezési környezetben a rendszer működőképességét elsősorban a panelpozicionálás pontossága, az illesztési hézagok alakulása, a csomóponti vasalati elemek szerelhetősége és a helyszíni kibetonozás folytonossága határozta meg.

A helyszíni összeszerelés során több csomópontnál tapasztalható volt, hogy a panelek illesztése meghaladta a gyártmánytervben rögzített értéket. Ez nem pusztán geometriai eltérés, mivel közvetlenül befolyásolja a fűzővasalás kialakíthatóságát, a monolitikus kapcsolat létrejöttét és ezáltal a tervezett teherátadási modell megvalósulását. A 20 mm-t meghaladó illesztési eltérések esetében a beton zsugorodása önmagában nem tekinthető elsődleges oknak [8]; sokkal inkább egy már meglévő geometriai pontatlanságot és a gyártási–szállítási–szerelési folyamatban felhalmozódó tőréseltéréseket erősítő tényezőként értelmezhető. A vizsgált esetben meghatározóbbnak a panel síkból való eltérése bizonyult [9].

Pozitív eredményként értékelhető, hogy az előre kialakított gépészeti és elektromos előkészítések – így a gégecső- és kötődoboz-bevezetések, valamint a hornyok – alapvetően a gyártmányterv szerinti pozícióban voltak.



3. ábra. Előregyártott Liapor falpanelek helyszíni szerelési és validációs folyamata

Ezzel szemben a felületminőség és az anyagszerkezeti homogenitás további fejlesztést igényel: a felületi egyenetlenségek és a Liapor-szemcsék felső zónák felé történő elmozdulása a keverési stabilitás, a tömörítés és az adalékanyag-előkészítés pontosabb kontrollját indokolja.

Az eredmények alapján a Liapor alapú falpanel-fejlesztés többváltozós optimalizációs feladatként értelmezhető, amelyben a receptúra, a gyártási pontosság, a csomóponti tűréslánc, a vasalati kapcsolatok szerelhetősége és az anyagszerkezeti homogenitás együttesen határozza meg az ipari alkalmazhatóságot.



4. ábra. Illesztési és felületi jelenségek dokumentációja a prototípus-fázis tapasztalatai alapján

5. KÖVETKEZTETÉSEK

A siófoki Mille-Ház projekt köré szervezett esettanulmány legfontosabb tanulsága, hogy a Liapor alapú előregyártott falpanel nem pusztán receptúrafejlesztési kérdés, hanem komplex gyártási, szerelési és teljesítményigazolási rendszer. A falszerkezet teljesítménynyilatkozata alapján a panelek geometriai tulajdonságai a gyártmányterv szerinti tűrésen belül voltak [5,6].

A kutatás szempontjából a legfontosabb következtetés az, hogy a mérések alapján rögzített megfelelés mellett is vizsgálni kell, hogyan hat a receptúra, a panelgeometria, a felületminőség és a helyszíni szerelési folyamat a rendszer tényleges működésére. A további kutatás ezért nem kizárólag a receptúrák pontosítására irányul, hanem annak igazolására is, hogy a fejlesztett falpanel-rendszer meghatározott teljesítménytartományban, reprodukálható gyárthatóság mellett, megfelelő geometriai és alaktartási stabilitással alkalmazható.

A Mille-Ház projekt így nem lezárt eredményként, hanem kutatási fordulópontként értelmezhető. A falpanel ott válik valódi innovációvá, ahol a mérések során igazolt anyagjellemzők, a gyártási pontosság és a helyszíni szerelhetőség ugyanannak a kontrollált rendszernek a részeivé válnak.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretnék köszönetet mondani a Soproni Egyetem szakmai támogatásáért, Prof. Dr. Kósa Balázs témavezetői és Nagy Tamás vállalati szakértői munkájáért, valamint a Homes4You Készházak Kft. ipari együttműködéséért. A kutatás az EKÖP-KDP program keretében valósult meg.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] CEN: EN 14992:2007+A1:2012 Precast concrete products – Wall elements. European Committee for Standardization, Brussels, 2012.
- [2] LIAPOR kerámiagyöngy. Magyar Építéstechnika, 1995, 33. évf., 4. sz., p. 50. ISSN 1216-6022.
- [3] Borzák Balarám B.: Liapor könnyű készbeton. Magyar Építéstechnika, 2004, 42. évf., 10. sz., p. 35. ISSN 1216-6022.
- [4] Mészáros Zs.: Új építőanyagok. MM Műszaki Magazin, 2008, 18. évf., 7-8. sz., p. 8. ISSN 1417-0132.
- [5] European Parliament and the Council: Regulation (EU) No 305/2011 establishing harmonised conditions for the marketing of construction products. Official Journal of the European Union, 2011.
- [6] CEN: EN 206:2013+A2:2021 Concrete – Specification, performance, production and conformity. European Committee for Standardization, Brussels, 2021.
- [7] Uysal O., Uslu I., Aktaş C. B., Chang B., Yaman I. Ö.: Physical and Mechanical Properties of Lightweight Expanded Clay Aggregate Concrete. Buildings, 2024, 14(6), 1871. DOI: 10.3390/buildings14061871.
- [8] CEN: EN 1992-1-1:2023 Eurocode 2 – Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings, bridges and civil engineering structures. European Committee for Standardization, Brussels, 2023.
- [9] Precast/Prestressed Concrete Institute: Tolerance Manual for Precast and Prestressed Concrete Construction. MNL-135-00, PCI, Chicago, 2000. DOI: 10.15554/MNL-135-00.