

KÉREGALAPÚ HŐSZIGETELŐ LEMEZ TULAJDONSÁGAINAK JAVÍTÁSA

Börcsök Zoltán és Pásztor Zoltán

Soproni Egyetem, Simonyi Károly Kar, Innovációs Központ

Kivonat

Számos kutatás foglalkozik természetes anyagokból készült szigetelő anyagokkal, közöttük a kéreggel is. A kéregből készült lemezek fizikai és mechanikai tulajdonságai rendszerint rosszabbak az ugyanolyan körülmények között készült faalapú lemezek tulajdonságainál. Ennek a tanulmánynak a célja az, hogy megvizsgálja a Pannónia nyár kéregéből készült hőszigetelő lemez tulajdonságai rövid üvegszál belekeverésével, random elrendezésű üvegszál szövet, valamint üvegszál háló és üvegszál szőtt szövet felületre ragasztásával, illetve a felszín alá helyezett üvegszál háló segítségével javítható-e. További vizsgálat során a panelek hővezetését próbáltuk javítani a kéreg forgácsok hőkezelésével. A cél sűrűség 350 kg/m^3 volt, az elkészült panelek hővezetése $0,067$ és $0,078 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ közötti volt. A megerősítéseknek csak gyenge hatása volt a hővezetésre és a mechanikai tulajdonságokra. A hővezetést elsősorban a sűrűség befolyásolta, bár a nyersanyag előkezelése csökkentette a panelek hővezetését.

Kulcsszavak: fakéreg, hőszigetelés, erősítés, üvegszál, hőkezelés

IMPROVING THE PROPERTIES OF BARK BASED INSULATION PANELS

Abstract

Several studies have investigated natural-based insulation materials, including bark. The physical and mechanical properties of the bark panels are worse than those of wood panels. The aims of this study were to manufacture an insulation panel from Pannónia poplar bark and investigate the reinforcement possibilities with short glass fiber, overlaying fibreglass mesh, fibreglass mat and fibreglass woven fabric and two types of paper, as well as inner glass fiber mesh. Further, we tried to improve the thermal conductivity of the panels by heat treating the bark particles. We studied their physical and mechanical properties and thermal conductivity. The target density was 350 kg/m^3 , the thermal conductivity of the panels ranged from 0.067 to $0.078 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. The reinforcement slightly decreased thermal conductivity and significantly increased mechanical properties. Thermal conductivity is determined by density. The heat pre-treatment of the raw material slightly decreased the thermal conductivity.

Keywords: tree bark, thermal insulation, reinforcement, glass fiber, heat treatment

BEVEZETÉS

Mivel a legtöbb kutató elfogadta a klímaváltozást és a fosszilis nyersanyagok készleteinek véges voltát, az energia felhasználásának csökkentése egyre sürgetőbbé vált/válik. Az EU-ban az épületek felelnek az összes energiateljesítmény 40%-áért és a szén-dioxid kibocsátás 35%-áért. A már meglévő és újonnan épülő épületek energia-hatékonyságának növelését a határoló szerkezetek (fal, padló, tető) hőteljesítményének javításával érhetjük el (Schiavoni et al 2016, Pavel & Blagoeva 2018). Ahogy a környezetvédelmi megfontolások előtérbe kerültek, úgy a természetes alapanyagú, újrahasznosítható anyagok és megoldások jelentősége is növekedett, ezért az utóbbi évtizedekben a természetes alapanyagú szigetelések kutatása folyamatos.

Számos kutatás foglalkozott a természetes anyagokból készülő lemezekkel a gyapot szár rostjaitól (Zhou et al 2010) a búzaszalmáig (Volf et al 2015). A növényi rostokból vagy forgácsokból, szemcsékből készült szigetelések hővezetési tényezője 0,037 és 0,065 W/m·K között van (Hurtado et al 2016, Schiavoni et al 2016, Veitmans & Grinfelds 2016). A kéreg szintén a kutatott anyagok között található (Kain et al 2013, Pásztor & Ronyecz 2013, Pásztor et al 2017b). Évente, globálisan kéregből több milliónyi tonna keletkezik a fafeldolgozás során (Aydin et al 2017). Számos tanulmány szerint a kéregből készült lemezek fizikai és mechanikai tulajdonságai rosszabbak, mint az azonos körülmények között készült faanyag alapú lemezeké, de ezek javíthatók (Murphey & Rishel 1969, Place & Maloney 1975, 1977, Blankenhorn et al 1977, Blanchet et al 2000). A vegyes, faanyag és kéreg keverékéből készült lemezek tulajdonságai romlanak a kéregarány növekedésével (Nemli & Çolakoğlu 2005, Yemele et al 2008, Pedieu et al 2008). Ugyanakkor azon fajok kérgé, melyek hosszú rostokat tartalmaznak, sokkal inkább alkalmasak lemezek készítésére (Maloney 1973, Chow 1976, Yamauchi et al 1999, Blanchet et al 2000, Pedieu et al 2009). Érdemes megjegyezni azt is, hogy a kéregtartalom növekedésével csökken a formaldehid kibocsátás mértéke (Nemli & Çolakoğlu 2005).

A kéreglemezek gyengesége javítható, ha azokat általánosan is használt mesterséges rostokkal, szálakkal, pl. üveg, szén, bazalt vagy aramid szálakkal erősítjük meg. A fatermékek üvegszál erősítésének vizsgálata a hatvanas években kezdődött, üvegszál erősítésű gerendák formájában (Wangaard 1964, Biblis 1965). Azóta számos kutatásban alkalmazták a felszínen vagy az anyagba keverve, esetleg a felszín alatt, hogy növeljék a hajlító szilárdságot pl. MDF (Medium Density Fiberboard) (Cai 2006), rétegelt lemez (Biblis & Carino 2000, Mitzner 1973), LSL (Laminated Strand Lumber) (Moradpour et al 2018), LVL (Laminated Veneer Lumber) (Bal 2014) és glulam gerenda (Glued Laminated Timber) (Osmannezhad et al 2014) esetén. Az üvegszálakat, mint az anyagba kevert erősítő anyagot vizsgálták beton kompozitok (Kizilkanat et al 2015, Arslan, 2016) és fa-műanyag kompozitok esetén is (Zolfagari et al 2015).

A faanyag és a fatermékek hővezetése számos tényezőtől függ, befolyásolja a sűrűség, nedvességtartalom, kémiai összetétel, porozitás, rostirány stb. (MacLean 1941, TenWolde et al 1988, Ragland et al 1991, Suleiman et al 1999). A faanyag hőkezelése javítja a faanyag dimenzióstabilitását az egyensúlyi fanedvesség, a vízfelvétel és a dagadás csökkentése révén, ugyanakkor a szilárdsági tulajdonságok gyengülnek (Seborg et al 1953, Rowel & Youngs 1981, Hill 2006). A faanyag hővezetése szintén csökken hőkezelés hatására (Sekino & Yamaguchi 2010, Kol & Sefil 2011, Korkut et al 2013, Pásztor et al 2017a).

A kutatás célja volt, hogy (i) hőszigetelő lemezt készítsünk kéreg forgács felhasználásával; (ii) javítsuk a lemezek mechanikai tulajdonságait a felszín üvegszálal anyaggal történő borításával, vagy a felszín alá helyezett üvegszálal hálóval, vagy a szemcsék közé kevert üvegszállal; valamint (iii) a kéregforgács alapanyag hőkezelésével csökkentsük a panelek hővezetését.

RÖVIDÍTÉSEK

TS	Dagadás (%)
WA	Vízfelvétel (wt%)
EMC	Egyensúlyi fanedvesség (%)
ρ	Sűrűség (kg/m ³)
λ	Hővezetés (W/m·K)
MOE	Rugalmassági modulusz (MPa)
MOR	Hajlítószilárdság (GPa)
IB	Belső kötés (N/mm ²)
UF	Karbamid-formaldehid gyanta
MC	Nedvességtartalom (%)

ANYAG ÉS MÓDSZER

Felhasznált anyagok

(a) A felhasznált Pannónia nyár (*Populus × euramericana* (Dode) Guiner cv. Pannónia) kéreg a TAEG Zrt. Soproni Fűrészüzeméből származik. A külső és belső kérget nem választottuk el, előzetes szárítás után kalapácsol malomban őröltük, 8 mm-es szitán átengedve. A kéreg forgácsot fracionáltuk (3 PRO Fritsch Analysette) és a 0,5–8,0 mm-es tartományt használtuk fel panelkészítésre. A forgácsot tovább szárítottuk 6–9% nettó nedvességtartalomig.

(b) A felszíni megerősítéshez közösleges üvegszálás termékeket használtunk: üvegszálás hálót (GFRP1), random üvegszálás szövetet (GRFP2), valamint szőtt üvegszálás anyagot (GFRP3). Ezekon kívül két típusú papírt, egy vastagabb, kétrétegű reciklált papírt (P1) és egy vékonyabb, termomechanikai rosttal bevont papírt (P2), melyeket UF-fel ragasztottunk és préseltünk a panelek felszínére. A papírok fő tulajdonságait a TAPPI T 410 (1998) and TAPPI T 494 (1996) szabványok szerint mértük, a mérési eredményeket az 1. táblázat tartalmazza. A papír felületek nedvesíthetőségét TAPPI T458 (2004) szabvány szerint, 68–76 PocketGoniometer PGX+ műszerrel végeztük. A peremszöget (CA) és a felületi energiát statikus mérési módban, desztillált vízzel és dijudmetánnal (DIM) mértük.

1.táblázat: Lapvastagság és a felhasznált papírlapok TAPPI szabványok szerint meghatározott főbb tulajdonságai
Table 1: Sheet thicknesses and main properties of the paper sheets used in the research, according to TAPPI standards

	Vastagság (µm)	Négyzetméter-tömeg (g/m ²)	MD ¹ Szakítási mutató (Nm/g)	CD ² Szakítási mutató (Nm/g)	Peremszög CA (°)		Felületi energia ΔG _f (mJ m ⁻²)	
					külső felszín	panelra ragasztott felszín	külső felszín	panelra ragasztott felszín
P1	278	194	60,19	22,28	109,8	71,4	24,66	-23,22
P2	116	88,6	53,62	30,32	96,5	113,9	8,24	29,49

¹MD: gyártásirány, ²CD: kereszt irány

(c) A felszín alatti megerősítéshez kétféle üvegszál hálót használtunk (M1 és M2), melyek főbb tulajdonságait a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat: A kísérletekben használt üvegszál hálók főbb tulajdonságai
Table 2: Basic properties of fiberglass meshes used in this work

	M1	M2	
Négyzetmétersúly (g/m ²)	75	53	
Hálóméret (mm)	3,0×2,5	4,4×4,2	
Szakítószilárdság (N/5 cm)	Lánc irány	350	850
	Vetülék irány	760	1000

(d) A kísérletekben felhasznált bekevert üvegszál fonal a PD Tatneft-Alabuga Fiberglass LLC (Yelabuga, Russia) cégtől származik. A tekercsről kézzel vágtuk le a felhasznált 12 mm (GF_12), 18 mm (GF_18), 24 mm (GF_24) and 30 mm (GF_30) hosszra. A felhasznált üvegszál tulajdonságait a 3. táblázat tartalmazza.

(e) Az alapanyag hőkezelése 180 °C-on történt. A kéreg forgácsot szobahőmérsékletéről 95 °C-ra 1 óra alatt, 95 °C-ról 130 °C-ra további 2 óra alatt melegítettük fel, a csúcshőmérsékletet további fél óra alatt értük el. Ezt követően három különböző kezelési időt alkalmaztunk (állandó hőmérsékleten tartva az anyagot): 1 (T1), 2 (T2) és 3 (T3) óra hosszát tartottak a kezelések.

(f) Általános UF műgyantát használtunk a panelek elkészítéséhez, DUKOL Ostrava s.r.o. cégtől.

3. táblázat: Az üvegszál fonal főbb tulajdonságai
Table 3: Main properties of glass fibres

	Típus	szálátmérő (mikron)	lineáris sűrűség (Tex)*	MC (%)	szívósság (gf/tex)**
EC 14-300-350	Szilán módosított „E” üveg	14,0±1,5	300±15	<0,20	>45

* A lineáris sűrűség a szálanyagok hosszegységére jutó tömegét jelenti: 1 tex=1 g/km

**A szívósság a szál anyagok „erősségét” jellemzi, hagyományosan gramm-erő/tex mértékegységgel. A gramm-erő (gram-force) egy metrikus erőegység: 1 gf egyenlő egy gramm tömegével, szorozva a Föld átlagos gravitációjának megfelelő gyorsulással, azaz 9,80665 m/s²-tel.

PANELGYÁRTÁS

(a) A panel száraz tömegéhez viszonyított 4% UF ragasztót használtunk a panelek elkészítéséhez, 35%-os, 3% szárazanyag tartalmú ammónium szulfát edzőt alkalmazásával. A kéreg forgácsot 5 percig kevertük a gyantarendszerrel, hogy homogén keveréket hozunk létre. Ezt követően egy fakeret felhasználásával terítéket hoztunk létre, melyet előtömörítettünk, majd a keretet eltávolítottuk. Laboratóriumi prés (Siempelkamp) segítségével 500 mm × 500 mm × 20 mm-es szigetelő lemezeket készítettünk, 350 kg/m³ célsűrűséggel. A préselési idő 18 másodperc volt vastagsági milliméterenként, a prést 180 °C-ra melegítettük. A kezdeti présnyomás 2,86 MPa volt, melyet három lépcsőben (2 MPa, 1.15 MPa, 0 MPa) redukáltunk, a képződő gőz okozta panelsérülések elkerülése érdekében.

(b) Mindhárom, a felszínre ragasztott üvegszál anyagot utólag hőpréssel ragasztottuk a felszínre. A ragasztáshoz kétkomponensű epoxi gyantát (Elan-tech EC 152; W152 HR) használtunk, mind az üvegszál anyagra, mind a panelek felszínére ecsettel felhordva. A ragasztás után a ragasztóanyag kötéséhez a paneleket szobahőmérsékleten 24 órára présbe helyeztük 0,2 MPa nyomáson.

A papírral fedett panelek egy lépésben, a panelek préseléskor készültek, a hőpréselés előtt a panelgyártáshoz is használt UF ragasztót hordunk fel a papírra ecsettel.

(c) A felszín alá helyezett üvegszálás hálót a terítékképzés során helyeztük a teríték belsejébe kb. 2 mm-re a felszíntől.

(d) A különböző hosszúságú, 3%-nyi (m/m %, száraz tömegre vonatkoztatott) üvegszálat a ragasztóval együtt kevertük a kéreg forgácshoz, és 5 percig kevertük a homogenizálás érdekében.

(e) A hőkezelt forgácsból készült panelek ugyanazzal a módszerrel készültek, mint a kontrol panelek, lásd (a) pont.

MÉRÉSEK

A hővezetést a panelek keresztmetszetén mértük egy egyedi, laboratóriumi hővezetésmérővel. A hideg és meleg oldal között 10 °C hőmérséklet különbséget állítottunk be, a hővezetést az egyensúlyi állapot elérése után a hőáram mérésének segítségével számítottuk.

A sűrűséget a mechanikai mérésekhez használt mintákon mértük, legalább 15 minta átlagaként. A sűrűséget az egyensúlyi fanedvesség beállása után, közvetlenül a mechanikai tesztek elvégzése előtt mértük.

A vízfelvételt és a dagadást 2, illetve 24 órás vízbe merítéssel mértük az MSZ EN 317:1998 európai szabványnak megfelelően. Tizenkét darab 50 mm × 50 mm-es próbatest súlyát és vastagságát mértük 0,01 g, illetve 0,1 mm pontossággal.

A mechanikai tulajdonságokat Instron 5506 vizsgálógéppel végeztük. Mértük a hajlítoszilárdságot (MOR) és a rugalmassági moduluszt (MOE) [MSZ EN 310:1999], a felragasztott felületek és a kéreg panelek közötti ragasztás minőségének tesztelésére a felületi szilárdságot (SS) [MSZ EN 311:2002], a nem ragasztott felületű panelek esetében a felületre merőleges szakítoszilárdságot, vagy más néven belső kötést (IB) [EN 319:1993]. A minták kialakítása az EN 326-1:1994 szabvány szerint történt.

A mérési eredmények statisztikai elemzésére az egyes csoportokon belül varianciaanalízist (ANOVA) végeztünk Statistica 13 szoftver segítségével (TIBCO Software Inc., USA). Az adatok normalitását Shapiro-Wilk teszttel, a homogenitást Levene teszttel ellenőriztük 5% szignifikancia szinten. Post hoc tesztet végeztünk Tukey HSD módszere szerint.

EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

A mért eredményeket és a szórásokat a 4. és 5. táblázat tartalmazza.

Sűrűség

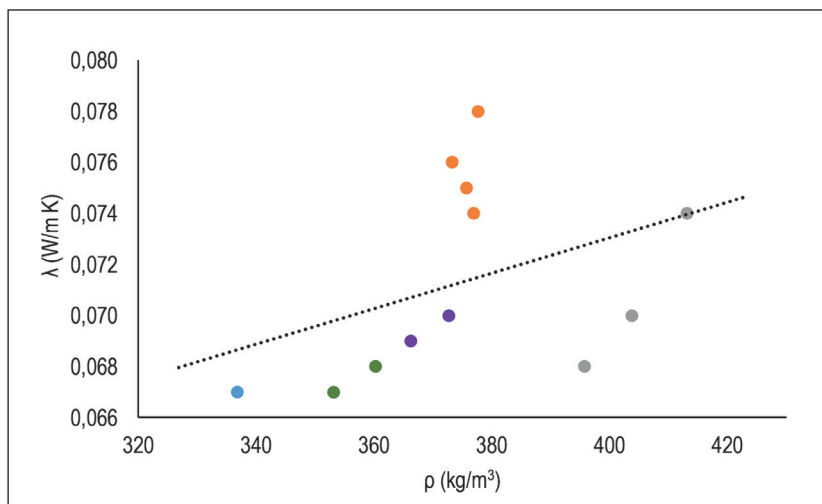
A sűrűség majdnem minden panel esetében nagyobb lett, mint a célsűrűség (350 kg/m^3), 336 és 413 kg/m^3 között volt, ami részben a laboratóriumi körülmények nagyobb inhomogenitásával magyarázható. Tekintettel arra, hogy a felületi megerősítésre használt üvegszálás anyagokat utólag erősítettük az elkészült lemezekre, azok sűrűsége jelentősen eltért a többi panelétől.

A hőkezelt alapanyagokból készült panelek esetében is ugyanakkora tömegű kiindulási anyagot használtunk fel, a célsűrűség itt is 350 kg/m^3 volt, vagyis a panelek közötti kis eltérések itt is a laboratóriumi körülmények nagyobb inhomogenitásával magyarázhatók.

Hővezetés

A kontrol panel hővezetése $0,067 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ volt, míg a különböző módon megerősített panelek hővezetése $0,067$ és $0,078 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ közé esett. Ismert, hogy a panelek hővezetését erősen befolyásolja azok sűrűsége, mivel a sűrűség növekedésével nő a szilárd részecskék mennyisége, és a hő a részecskék közötti hőhidakon

keresztül tud áramolni. A nagyobb mennyiségű részecske több hőhidat jelent, és így jobb hővezetést is. A különböző módon megerősített panelek hővezetését és sűrűségét egy diagramon ábrázolva (1. ábra) azonban az látható, hogy a hővezetést nem csak a sűrűség, hanem a panel típusa is befolyásolja. Egy paneltípuson belül a sűrűség természetesen befolyásolja a hővezetést, de ennek mértéke (a rá illeszthető egyenesek meredeksége) változó. Annak ellenére, hogy a különböző típusú panelek hővezetésének átlagértéke különbözött, szignifikáns különbségek nem voltak kimutathatók.



1. ábra: A sűrűség és a hővezetés közötti összefüggés a megerősített panelek esetében (kék – kontrol, zöld – papír borítás, lila – belső háló, narancs – rövid üvegszálak, szürke – üvegszálak borítás)

Figure 1: Relation between density and thermal conductivity of the reinforced panels (blue – control; green – paper overlaid; purple – inner mesh; orange – short glass fibers; gray – glass fiber overlaid)

A hőkezelt alapanyagból készült panelek hővezetése 0,064, 0,065 és 0,067 W/m·K (1, 2, illetve 3 óráig tartó kezelés), a kontrol panel hővezetése 0,067 W/m·K volt. A sűrűség növekedésével a hőkezelt anyagokból készült panelek hővezetése is növekedett.

4. táblázat: A megerősített panelek és a kontrol panel fizikai, hőtechnikai és mechanikai tulajdonságai

Table 4: Physical, thermal and mechanical properties of the reinforced panels and control panels

	Kontrol	P1	P2	GFRP1	GFRP2	GFRP3	GF_12	GF_18	GF_24	GF_30	M1	M2
Fizikai tulajdonságok												
ρ (kg/m ³)	336,80 (±22,95)	360,24 (±17,57)	353,06 (±14,67)	413,07 (±23,77)	395,69 (±18,66)	403,71 (±26,97)	376,89 (±19,46)	375,60 (±14,82)	377,63 (±12,47)	373,21 (±15,80)	372,68 (±30,93)	366,14 (±10,90)
EMC (%)	8,88 (±0,17)	9,12 (±0,15)	9,60 (±0,36)	9,29 (±0,28)	9,51 (±0,56)	9,64 (±0,23)	9,66 (±0,84)	10,18 (±0,09)	9,86 (±0,27)	9,58 (±0,28)	9,66 (±0,30)	9,43 (±0,30)
WA (wt%)	218,37 (±28,03)	159,32 (±6,98)	210,87 (±42,45)	147,03 (±24,04)	161,34 (±23,53)	152,83 (±22,96)	193,23 (±28,05)	173,87 (±16,91)	177,54 (±18,29)	190,94 (±26,26)	207,61 (±35,91)	182,73 (±18,37)
TS (%)	18,18 (±3,09)	12,39 (±0,86)	16,90 (±2,40)	13,76 (±2,90)	9,78 (±2,14)	9,63 (±1,37)	8,88 (±1,12)	9,18 (±0,80)	9,14 (±1,15)	9,28 (±0,88)	16,83 (±2,62)	15,83 (±1,43)
Hőtechnikai tulajdonságok												
λ (W/mK)	0,067 (±0,004)	0,068 (±0,001)	0,067 (±0,004)	0,074 (±0,002)	0,068 (±0,001)	0,070 (±0,004)	0,074 (±0,007)	0,075 (±0,002)	0,078 (±0,004)	0,076 (±0,002)	0,070 (±0,004)	0,069 (±0,001)

A 4. táblázat (folytatás)

Table 4. (cont.)

	Kontrol	P1	P2	GFRP1	GFRP2	GFRP3	GF_12	GF_18	GF_24	GF_30	M1	M2
Mechanikai tulajdonságok												
SS (N/mm ²)	–	0,12 (±0,07)	0,08 (±0,05)	0,16 (±0,06)	0,17 (±0,04)	0,23 (±0,10)	–	–	v	–		
IB (N/mm ²)	0,04 (±0,02)	–	–	–	–	–	0,13 (±0,02)	0,10 (±0,03)	0,09 (±0,01)	0,12 (±0,03)	0,04 (±0,01)	0,05 (±0,02)
MOR (MPa)	0,54 (±0,17)	2,21 (±0,29)	1,43 (±0,24)	2,54 (±0,81)	2,82 (±0,68)	4,45 (±1,98)	1,02 (±0,21)	0,84 (±0,18)	0,75 (±0,22)	0,66 (±0,19)	0,54 (±0,17)	2,44 (±0,65)
MOE (GPa)	0,28 (±0,08)	0,99 (±0,10)	0,66 (±0,06)	1,95 (±0,40)	1,36 (±0,19)	2,86 (±0,48)	0,19 (±0,03)	0,15 (±0,02)	0,15 (±0,02)	0,15 (±0,03)	0,28 (±0,08)	0,66 (±0,11)

5. táblázat: Hőkezelt alapanyagokból készült panelek fizikai, hőtechnikai és mechanikai tulajdonságai

Table 5: The physical, thermal and mechanical properties of panels, pre-treated on different duration

	C	T1	T2	T3
Fizikai tulajdonságok				
ρ (kg/m ³)	336,80 (±22,95)	336,40 (±13,53)	349,78 (±20,73)	352,29 (±12,74)
EMC (%)	8,88 (±0,22)	8,33 (±0,22)	8,44 (±0,21)	7,66 (±0,17)
WA (wt%)	217,89 (±48,0)	185,57 (±23,58)	123,19 (±25,93)	100,61 (±34,82)
TS (%)	18,18 (±3,09)	10,68 (±2,49)	7,65 (±1,49)	5,45 (±0,72)
Hőtechnikai tulajdonságok				
λ (W/m K)	0,067 (±0,004)	0,064 (±0,003)	0,065 (±0,005)	0,067 (±0,001)
Mechanikai tulajdonságok				
MOR (MPa)	0,54 (±0,17)	0,45 (±0,09)	0,89 (±0,21)	1,08 (±0,22)
MOE (GPa)	0,28 (±0,08)	0,22 (±0,03)	0,41 (±0,13)	0,56 (±0,06)
IB (N/mm ²)	0,037 (±0,014)	0,032 (±0,018)	0,039 (0,009)	0,047 (0,014)

Mechanikai tulajdonságok

A MOR, MOE és SS erősen függ a felszínborítás anyagától. Általánosságban elmondható, hogy az üvegszálal anyaggal borított panelek mechanikai tulajdonságai jobbak a papírborítású paneleknél. A papírok közül az újrahasonosított papír hozott jobb eredményeket, ugyanakkor egyik papír sem hozott olyan kiemelkedő eredményeket, mint WA és TS esetében. Az üvegszálal borítások közül a szőtt üvegszálal szövet eredményezte a legjobb mechanikai tulajdonságokat, de a másik két üvegszálal borítás alig gyengébb eredményeket adott. Azok a panelek, melyekbe 12–30 mm-es üvegszálalakat kevertünk erősítés gyanánt, rosszabb mechanikai tulajdonságokat mutattak, mint a kontrol panelek. Sőt, általánosságban a mechanikai tulajdonságok romlottak az üvegszálal hosszának növekedésével. A vizsgált üvegszálal-hosszok közül a 12 mm szállal erősített panelek



mutatták a legjobb eredményeket. IB tekintetében nem volt szignifikáns különbség a megerősített csoportok között, bár a felszín alá elhelyezett hálókval erősített panelek esetében volt a legalacsonyabb. A szignifikáns különbségek hiánya a nagy szóródásra vezethető vissza, mely miatt a csoportok közötti adatok átfednek. Mind a belső szál, mind a háló erősítés esetében megfigyelt alacsony mechanikai értékek az üvegszálak és a kéreg forgácsok közötti kémiai kötésekre hiányára vezethetők vissza, ami rétegelvadások kialakulásához vezetett a panelekben.

A hőkezelt anyagból készült panelek mechanikai tulajdonságai között nem találtunk szignifikáns különbséget.

ÖSSZEFOGLALÁS

Kutatásunk igazolta, hogy lehetséges hőszigetelő paneleket gyártani Pannónai nyár kéregből, UF gyanú felhasználásával. Mivel a különböző faalapú hőszigetelések hővezetése 0,05 és 0,08 W/m K között van (TenWolde et al 1988, Kamke 1989), elmondhatjuk, hogy az általunk készített panelek ennek a tartománynak a felső felében helyezkednek el. Ugyanakkor a mesterséges hőszigetelő anyagok hővezetése ennél kedvezőbb, 0,015 és 0,045 közötti, viszont a természetes anyagokból készült termékek környezetterhelése jóval alacsonyabb.

A hőkezelés hatással volt a hővezetésre, de a hővezetés erősebb sűrűségfüggése elfedte ezt a hatást. Hőreiszten ragasztó alkalmazásával az elkészült panelek utólagos hőkezelésével várhatóan drasztikus sűrűség és hővezetés csökkenés érhető el.

Bár a szigetelő anyagoknak nem kell olyan mechanikai tulajdonságokkal rendelkezni, mint a szerkezeti elemeknek, előnyt jelenthet az anyagok pakolása, szállítása során, ha rendelkeznek némi merevséggel. A kéregből készült szigetelőanyagok mechanikai tulajdonságai az összes általunk vizsgált megerősítéssel többé-kevésbé javítható, melyek közül a szőtt üvegszálak szövet borítású panel tulajdonságai voltak a legkedvezőbbek. Egyes esetekben a panelek tulajdonságai tovább javíthatók lennének olyan ragasztó segítségével, mely kötést alakít ki az üvegszál és a kéreg részecskék között.

A megerősítéseknek akkor volt hatása a fizikai tulajdonságokra (EMC, TS, WA), ha fizikailag akadályozták a víz felvételét a környezetből. A hőkezelés az alapanyag kémiai szerkezetét megváltoztatta, csökkentette a hidroxil csoportok számát és ezzel csökkentette a vízfelvételt és a dagadást.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Szechenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Arslan M.E. 2016: Effects of basalt and glass chopped fibers addition on fracture energy and mechanical properties of ordinary concrete: CMOD measurement. *Construction and Building Materials* 114: 383-391. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.03.176
- Aydin I., Demirkir C., Colak S. & Colakoglu G. 2017: Utilization of bark flours as additive in plywood manufacturing. *European Journal of Wood and Wood Products* 75: 63–69.

- Bal B.C. 2014: Flexural properties, bonding performance and splitting strength of LVL reinforced with woven glass fiber. *Construction and Building Materials* 51: 9–14. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2013.10.041
- Biblis E.J. 1965: Analysis of wood-fibreglass composite beams within and beyond the elastic region. *Forest Products Journal* 15 (2): 81–88.
- Biblis E.J. & Carino H.F. 2000: Flexural properties of southern pine plywood overlaid with fibreglass-reinforced plastic. *Forest Products Journal* 50(1): 34–36.
- Blanchet P., Cloutier A. & Riedl B. 2000: Particleboard made from hammer milled black spruce bark residues. *Wood Science and Technology* 34: 11–19. DOI: 10.1007/s002260050003
- Blankenhorn P.R, Murphey W.K., Rishel L.E. & Kline D.E. 1977: Some mechanical properties of impregnated bark board. *Forest Products Journal* 27(6): 31–38.
- Cai Z. 2006: Selected properties of MDF and flakeboard overlaid with fibreglass mats. *Forest Products Journal* 56 (11/12):142–146
- Chow P. 1976: Properties of medium-density, dry-formed fiberboard from seven hardwood residues and bark. *Forest Products Journal* 26(5): 48–55.
- Gao Y., Xu K., Peng H., Jiang J., Zhao R. & Lu J. 2019: Effect of heat treatment on water absorption of chinese fir using TD-NMR. *Applied Sciences* 9: 78. DOI: 10.3390/app9010078
- Hill C.A.S. 2006: *Wood Modification, Chemical, Thermal and Other Processes*; Wiley: England
- Hurtado P.L., Rouilly A., Vandenbossche V. & Raynaud C. 2016: A review on the properties of cellulose fibre insulation. *Building and Environment* 96: 170–177. DOI: 10.1016/j.buildenv.2015.09.031
- Kain G., Barbu M.C., Hinterreiter S., Richter K. & Petuschnigg A. 2013: Using bark as a heat insulation material. *BioResources* 8(3): 3718–3731. DOI: 10.15376/biores.8.3.3718–3731
- Kamke F.A. 1989: Thermal conductivity of wood-based panels. In: Hasselman, D.P.H. & Thomas, J.R. (eds): *Thermal conductivity 20. Proceedings of the Twentieth International Thermal Conductivity Conference, held October 19–21, 1987, in Blacksburg, Virginia.* 249–260. ISBN 978-1-4613-0761-7
- Kekkonen P.M., Ylisassi A. & Telkki V.V. 2014: Absorption of water in thermally modified pine wood as studied by Nuclear Magnetic Resonance. *Journal of Physical Chemistry C* 118: 2146–2153. DOI: 10.1021/jp411199r
- Kizilkanat A.B., Kabay N., Akyüncü V., Chowdhury S. & Akça A.H. 2015: Mechanical properties and fracture behavior of basalt and glass fiber reinforced concrete: An experimental study. *Construction and Building Materials* 100: 218–224. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.10.006
- Kocaefe D., Poncsak S., Doré G. & Younsi R. 2008: Effect of heat treatment on the wettability of white ash and soft maple by water. *Holz Roh Werkstoff* 66: 355–361. DOI: 10.1007/s00107-008-0233-9
- Kol Ş.H. & Sefil Y. 2011: The thermal conductivity of fir and beech wood heat treated at 170, 180, 190, 200, and 212°C. *Journal of Applied Polymer Science* 121(4): 2473–2480. DOI: 10.1002/app.33885
- Korkut S., Aytin A., Taşdemir Ç. & Gurău L. 2013: The transverse thermal conductivity coefficients of Wild cherry wood heat-treated using the ThermoWood method. *ProLigno* 9(4): 649–683. Online ISSN 2069-7430.
- MacLean J.D. 1941: Thermal conductivity of wood. *Heating, piping & air conditioning* 13(6): 380–391.
- Maloney T.M. 1973: Bark boards from four west coast softwood species. *Forest Products Journal* 23(8): 30–38.
- Mitzner R.C. 1973: Durability and maintenance of plywood overlaid with fibreglass reinforced plastic. *American Plywood Association Laboratory Report No. 119 part 3*
- Mitsui K., Inagaki T. & Tsuchikawa S. 2008: Monitoring of hydroxyl groups in wood during heat treatment using NIR spectroscopy. *Biomacromolecules*, 9: 286–288. DOI: 10.1021/bm7008069
- Moradpour P., Pirayesh H., Gerami M. & Jouybari I.R. 2018: Laminated strand lumber (LSL) reinforced by GFRP; mechanical and physical properties. *Construction and Building Materials* 158: 236–242. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.09.172
- Murphey W.K. & Rishel L.E. 1969: Relative strength of boards made from bark of several species. *Forest Products Journal* 19(1): 52.



- Nemli G. & Çolakoğlu G. 2005: Effects of mimosa bark usage on some properties of particleboard. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 29: 227–230.
- Osmannezhad S., Faezipour M. & Ebrahimi G. 2014: Effects of GFRP on bending strength of glulam made of poplar (*Populus deltoides*) and beech (*Fagus orientalis*). *Construction and Building Materials* 51: 34–39. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2013.10.035
- Pásztor Z., Horváth N. & Börcsök Z. 2017a: Effect of heat treatment duration on the thermal conductivity of spruce and poplar wood. *European Journal of Wood and Wood Products* 75: 843–845. DOI: 10.1007/s00107-017-1170-2
- Pásztor Z., Mohácsiné R.I. & Börcsök Z. 2017b: Investigation of thermal insulation panels made of black locust tree bark. *Construction and Building Materials* 147: 733–735. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.04.204
- Pásztor Z. & Ronyecz I. 2013: The Thermal Insulation Capacity of Tree Bark. *Acta Silvatica and Lignaria Hungarica* 9: 111–117. DOI: 10.2478/aslh-2013-0009
- Pavel C.C. & Blagoeva D.T. 2018: Competitive landscape of the EU's insulation materials industry for energy-efficient buildings. PUBSY No. JRC108692 EUR 28816 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg
- Pedieu R., Riedl B. & Pichette A. 2008: Physical and mechanical properties of panel based on outer bark particles of white birch: Mixed panels with wood particles versus wood fibers. *Maderas. Ciencia y tecnología* 10(3): 195–206. DOI: 10.4067/S0718-221X2008000300003
- Pedieu R., Riedl B. & Pichette A. 2009: Properties of mixed particleboards based on white birch (*Betula papyrifera*) inner bark particles and reinforced with wood fibres. *European Journal of Wood and Wood Products* 67: 95–101. DOI 10.1007/s00107-008-0297-6
- Place T.A. & Maloney T.M. 1975: Thermal properties of dry wood-bark multilayer boards. *Forest Products Journal* 25(1): 33–39.
- Place T.A. & Maloney T.M. 1977: Internal bond and moisture response properties of three-layer, wood-bark boards. *Forest Products Journal* 27(3): 50–54.
- Ragland K.W., Aerts D.J. & Baker A.J. 1991: Properties of wood for combustion analysis. *Bioresource Technology* 37: 161–168.
- Rowel R.M., Youngs R.L. 1981: Dimensional stabilization of wood in use. Research Note FPL-0243, Forest Products Laboratory, Forest Service, USDA
- Schiavoni S., D'Alessandro F., Bianchi F. & Asdrubali F. 2016: Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 62: 988–1011. DOI: 10.1016/j.rser.2016.05.045
- Seborg R.M., Tarkow H. & Stamm A.J. 1953: Effect of heat upon the dimensional stabilization of wood. *Journal of the Forest Products Research Society* 3(3): 59–67.
- Sekino N. & Yamaguchi K. 2010: Carbonizing binderless wood shaving insulation panels for better insulation and durability. Part 1: Relationship between thermal conductivity and carbonizing temperature. Proceedings of the International Convention of Society of Wood Science and Technology and United Nations Economic Commission for Europe – Timber Committee October 11–14, 2010, Geneva, Switzerland. Paper IW-3 pp. 8.
- Stone J.E. & Scallan A.M. 1965: Effect of component removal upon the porous structure of the cell wall of wood. *Journal of Polymer Science: Part C* 11: 13–25.
- Suleiman B.M., Larfeldt J., Leckner B. & Gustavson M. 1999: Thermal conductivity and diffusivity of wood. *Wood Science and Technology* 33: 465–473. DOI: 10.1007/s002260050130
- Tenwolde A., McNatt J.D. & Krahn L. 1988: Thermal properties of wood and wood panel products for use in buildings. USDA Forest Service DOE/USDA-21697/1
- Tjeerdsma B.F., Boonstra M., Pizzi A., Tekely P. & Militz H. 1998: Characterisation of thermally modified wood: Molecular reasons for wood performance improvement. *Holz Als Roh-Und Werkstoff* 56: 149–153. DOI: 10.1007/s001070050
- Tjeerdsma B.F. & Militz H. 2005: Chemical changes in hydrothermal treated wood: FTIR analysis of combined hydrothermal and dry heat-treated wood. *Holz Als Roh-Und Werkstoff* 63: 102–111. DOI: 10.1007/s00107-004-0532-8

- Veitmans K. & Grinfelds U. 2016: Wood fiber insulation material. Proceedings 22nd Annual International Scientific Conference „Research for Rural Development 2016” 18–20 May, 2016 Vol. 2: 91–98. ISSN 2255-923X
- Volf M., Diviš J. & Havlíka F. 2015: Thermal, moisture and biological behavior of natural insulating materials. Energy Procedia 78: 1599–1604. DOI: 10.1016/j.egypro.2015.11.219
- Wangaard F.F. 1964: Elastic deflection of wood-fibreglass composite beams. Forest Products Journal 14 (6):256–260.
- Windeisen E., Strobel C. & Wegener G. 2007: Chemical changes during the production of thermo-treated beech wood. Wood Science and Technology 41: 523–536. DOI: 10.1007/s00226-007-0146-5
- Yamauchi H., Pulido O.R., Ma L.F., Miura I. & Sasaki H. 1999: Processing and utilization of sugi (*Cryptomeria japonica* D. DON) barks – preparation and grading of fibers. European Journal of Wood and Wood Products 57: 150–151.
- Yemele M.C.N., Blanchet P., Cloutier A. & Koubaa A. 2008: Effects of bark content and particle geometry on the physical and mechanical properties of particleboard made from black spruce and trembling aspen bark. Forest Products Journal 58(11): 48–56.
- Yin Y., Berglund L. & Salmén L. 2011: Effect of steam treatment on the properties of wood cell walls. Biomacromolecules 12: 194–202. DOI: 10.1021/bm101144m
- Zhou X., Zheng F., Li H. & Lu C. 2010: An environment-friendly thermal insulation material from cotton stalk fibers. Energy and Buildings 42: 1070–1074. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.01.020
- Zolfagari A., Behraves A.H. & Shahi P. 2015: Comparison of mechanical properties of wood–plastic composites reinforced with continuous and noncontinuous glass fibers. Journal of Thermoplastic Composite Materials 28(6): 791–805. DOI: 10.1177/0892705713503676

Érkezett: 2020. június 02.

Közlésre elfogadva: 2020. augusztus 10.