

**RÉSZLETES KUTATÁSI ZÁRÓJELENTÉS (2003-2006)**  
**OTKA (T 043399)**

**„Mezőgazdasági hulladék bázison közepes sűrűségű gipszkötésű formatest kompozitok előállítása és kötésmechanizmusának vizsgálata”**

**1. A kutatómunka első évében (2003) legfontosabb feladatunknak tekintettük a szakirodalom feltárását,**

Elsődleges célunk az volt, hogy megvizsgáljuk az egynyári növényeket, különös tekintettel a mezőgazdasági lignocellulóz alapú hulladékanyagok másodnyersanyagként történő hasznosításának vonatkozásában. Tisztán önmagukban (szalma, nádtöret), vagy másodnyersanyagként (lenpozdorja, szalmacellulóz-gyári rostiszap), hogyan tehetők alkalmassá szervesetlen kötésű (cement, gipsz) kompozitokban történő hasznosításra.

a.) A szakirodalmi feltáró munka eredményeképpen megállapítottuk, hogy hazai viszonylatban legnagyobb jelentőséggel a nagymennyiségben keletkező búzaszalma jöhet számításba, mint alapanyag. Gazdaságossági és technológiai szempontból a legkedvezőbb tulajdonságokat a már feltárt és rost formában jelenlévő szalmacellulózgyári rostiszap mutatott.

A feltáró munka során külön hangsúlyt fektettünk a szervesetlen kötésű kompozitok mátrix rendszerének tanulmányozására, melynek során elsősorban a portlandcement és gipsz alapanyagok vizsgálatára szorítkoztunk. *Mivel elsősorban olyan termék előállítását céloztuk meg, amely lehetőség szerint hulladékanyagok másodnyersanyagként történő felhasználásával készüljön és a szárazépítésben nyerjen alkalmazást, a figyelmünket a gipsz mátrix rendszer tanulmányozásának irányába terjesztettük ki.* Feltáró munka során ezért külön hangsúlyt fektettünk a gipszkötésű kompozitok mátrix rendszerét felépítő különböző gipsz alapanyagok, natur –(NAT), füstgáz- (FGD ill. REA), foszfor- (PHO) és stuck gipsz (STU) alkalmazásának lehetőségére és a már ismert eljárások tanulmányozására. Az elvégzett munka összegzésekként tudományos folyóiratban összefoglaló publikációt készítettünk .

b.) A kutatómunka előkészítése, az ismert gipszkötésű kompozitok tanulmányozása, kísérleti anyagok beszerzése, előkísérletek elvégzése volt a továbbiakban célirányosan megjelölt feladat.

A tényleges effektív kísérleti munka előkészítése és a felhasználásra kerülő alapanyagok majdani karakterizálása érdekében megrendeltük és a 2003. év decemberében beszerzésre került a pályázatban előzetesen betervezett FRITSCH lézeres szencseanalizáló berendezés. A nagyértékű műszer több milliós költségét más egyetemi forrásból (szakképzési alap) sikerült meghitelezni ill. részben kifizetni, ellenkező esetben el kellett volna tekinteni annak alkalmazásától.

A kutatómunka megkezdése során előkísérleteket folytattunk, melynek során gipszkötésű szalmaforgácslapot is készítettünk. Célunk az volt, hogy megvizsgáljuk, a felaprított, de rostformára kémiaileg még feltáratlan szalmaforgács részecskék alkalmassá tehetők-e gipszkötésű lapok gyártására. Az általunk előállított *gipszkötésű szalmaforgácslap* durva vázszerkezete és a szalma felületén kedvezőtlen kalciumszulfát-dihidrát kristályképződést mutatott minimális felületi tapadás mellett. Kalciumszulfát-dihidrát képződés még a forgács részecskék között sem volt található

A részeredményekről az NYME Faipari Mérnöki Karának Lemezipari Tanszéke szervezésében a témavezető a LIGNO NOVUM – WOOD TECH Faipari Szakkiállítás keretében lezajlott tudományos konferencián számolt be /2/

c.) *Külföldi tapasztalatszerzés, vizsgálati lehetőségek felkutatása* céljából, továbbá a témakör teljeskörű feltárása érdekében minden lehetőséget igyekeztünk kihasználni a legújabb ismeretek, tapasztalatok megszerzése érdekében. A Nyugat-Magyarországi Egyetem és az Universitát Hamburg között fennálló kutatási kapcsolat révén szakmai tanulmányúton vettünk részt a BFH Institut für Holzchemie und chemische Technologie des Holzes, valamint Institut für Holzphysik und Mechanische Technologie des Holzes laboratóriumaiban ahol a lignocellulóz alapú kompozitokkal kapcsolatos kutatási eredményeket tanulmányoztuk. A tanulmányút céljára OTKA költségek nem kerültek elszámolásra, mivel sikerült megoldani annak fedezetét devizamentes oktatócsere formájában.

További külföldi tapasztalatok szerzése és kapcsolatok teremtése céljából a témavezető első alkalommal vett részt a „16<sup>th</sup> International Wood Machining Semina (IWMS) Matsue, Japán konferencián, melynek keretében a szervesen kötött kompozit kutatás eredményeit vizsgáltuk ill. közös kutatás lehetőségét a Department of Natural Resources Process Engineering Shimane University, Matsue és elsősorban a Division of Forest and Biomaterials Science Graduate School of Agriculture, Kyoto University Kutatási Központban.

*Publikációk hivatkozással az OTKA (T 043399) támogatásra:*

1. Galgóczi Katalin, Takáts Péter (2003): „Faalapú kompozitok fejlesztési irányai” Faipar LI. évf. 3. sz. 32-33.o.
2. Takáts Péter (2003): „Gipszkötésű kompozitok és tulajdonságaik”, Faipar LI. évf. 4.sz.3-7.o.

**2. A kutatómunka második évében (2004) a felhasználásra kerülő alapanyagok karakterizálása, morfológiai vizsgálatát végeztük el.**

a.) *A szakirodalom feltárását követően a szervesen kötött kompozit előállítás céljából kiválasztásra kerültek a legalkalmasabbnak ítélt alapanyagok. A kompozit vázszerkezet szempontjából a „rostosított szalmát” és a szalmacellulózgyártás hulladékaként keletkező „rostiszapot” ítéltük a legmegfelelőbbnek (1-3 sz. táblázat)*

**A hektáronként begyűjthető szalma mennyisége**

**1. táblázat**

Ssz.	Fajta	Begyűjthető mennyiség (t/ha)
1.	Búzaszalma	0,9-1,2
2.	Rozsszalma	1,0-1,4
3.	Árpszalma	0,5-0,6
4.	Zabszalma	0,6-0,6
5.	Rizsszalma	0,5-0,8

**Cellulóz- és papírgyári rostiszap előfordulása Magyarországon**

**2. táblázat**

<b>Ssz.</b>	<b>Megnevezés</b>	<b>Rostiszap mennyisége (t/nap)</b>
1.	Fűzfői Papírgyár Rt.	3,5
2.	Diósgyőri Papírgyár Rt.	0,5
3.	DUNAPACK Rt. Dunaújvárosi Papírgyár	17,0
4.	DUNAPACK Rt. Csepeli Papírgyár	14,5
5.	Dunacell Kft.	5,0
6.	Piszke Papír Rt.	6,5
7.	Erzsébeti Papírgyár Kft.	1,0
8.	MONDI Business Paper Rt. Szolnoki Papírgyár	15,5
9.	MONDI Business Paper Rt. Dunaújvárosi Papírgyár	14,0

**A rostiszap általános tulajdonságai**

**3. táblázat**

<b>Ssz.</b>	<b>Megnevezés</b>	<b>Mennyiség</b>
1.	Száranyagtartalom (%)	34,2
2.	Ligninszármazék (%)	8,1
3.	Hamutartalom (%)	17,4
4.	Őrlésfok (SR)	68,0
5.	pH	6,4
6.	Zéta potenciál (mV)	6,5

A mátrix rendszer szempontjából a natur gipsz (NAT), fűtőgipsz (REA), foszfor-gipsz (PHO) és stucc gipsz (STU) is a vizsgálat tárgyát képezte. Bár a négy gipsz alapanyag nagyszámú vizsgálatok lefolytatását igényelte, ennek ellenére szükségesnek tartottuk, hogy kutatásainkat valamennyi ismert gipsz fajtára kiterjesszük.

Munkánk során választ kívántunk kapni arra, hogy a különböző gipsz alapanyagok hatására hogyan alakulnak a gipszkötésű rostlemezek tulajdonságai. Ennek érdekében először a négy gipsz alapanyagot részletes vizsgálatnak vetettük alá a DIN EN 1168 T.2, 7/1975 szabvány előírásainak figyelembevételével

*b.) A gipsz alapanyagok karakterizálása során a hidratáció mérése, rost-gipsz mátrix kapcsolat vizsgálata történt.*

Az alapanyagok morfológiai vizsgálatát követően az előkísérletek során felhasználásra kerülő gipsz alapanyagok kötésmechanizmusát vizsgáltuk elsőként. A hidratációs folyamatok alakulását egy általunk kidolgozott módszer alkalmazásával és a Fa és Papírtechnológiai Intézet AHLBORN THERM 6280-2 típusú thermoelemes berendezése segítségével sikerült lekövetni. A hidratációs görbék pontos képet adtak a különböző gipsz alapanyagok kötésének alakulásáról, az alkalmazott adalékanyagok (kötésgyorsítók) hatásmechanizmusáról és a vázszerkezetnek a gipsz hidratáció sebességét befolyásoló (kötésslassító) tulajdonságáról, mely közvetlen összefüggésben van a mindenkori vázszerkezet és mátrix kapcsolat kialakulásával (4.sz táblázat)

**Különböző gipsz alapanyagok jellemző tulajdonságai (DIN EN 1168 T.2, 7/1975)**

**4. táblázat**

Ssz.	Megnevezés	Gipsz típusok			
		NAT	REA	PHO	STU
1.	Víz-gipsz tényező (w)	0,64	0,73	0,89	0,62
2.	Kötési idő kezdete (min)	8,5	5,5	2,5	4,0
3.	Kötési idő vége (min)	46,0	33,5	42,0	28,0
4.	Örlési finomság > 0,2 mm (%)	6,8	1,8	2,1	3,4
5.	Hajlítószilárdság (N/mm <sup>2</sup> )	4,26	5,84	3,71	5,74
6.	Nyomószilárdság (N/mm <sup>2</sup> )	11,52	15,28	7,95	9,61
7.	Sűrűség (kg/m <sup>3</sup> )	1145	1192	934	1159
8.	pH	6,5	5,8	5,1	6,3

\* Megjegyzés: A szabványos területi átmérő beállítása érdekében a fenti víz-gipsz tényező (w) alkalmazása vált szükségessé.

A „rostosított szalmát” többlépcsős feldolgozási folyamat eredményeképpen sikerült előállítani: 1. Bálázott szalma durva aprítása (VIKING GE 110 aprító), 2. Rostosítása (RESCH Mühle SK1 verőkéses utánaprító) segítségével.

A „rostiszapot” a nedves gyártási eljárás céljára nem, a félszáraz technológia számára azonban rostfellazításnak vetettük alá adalék anyag alkalmazása mellett a csomósodás elkerülése érdekében. Ezt követően mindkét vázanyagot morfológiai vizsgálatnak vetettük alá.

A „rostosított szalma” szemcsevizsgálatát egy száraz elven üzemelő FRITSCH Analysette 3 PO szitaberendezésen, míg a „rostiszapot” az OTKA pályázat keretében vásárolt FRITSCH Analysette 22 COMPACT nedves eljárás elvén üzemelő lézeres részecskemérő berendezéssel karakterizáltuk, melynek segítségével rost alakosság és eloszlás szempontjából igen kedvező eredményt kaptunk ( 5.sz.táblázat)

**Rostiszap hosszúságának, rost átmérőjének és karcsúsági fokának átlagértékei**

**5. táblázat**

Ssz.	Megnevezés	Rostfellazítás előtt	Első rostfellazítás után	Második rostfellazítás után	Hulladékpapír rostosítást követően
1.	Rosthosszúság (µm)	L <sub>0</sub> = 379	L <sub>1</sub> = 349	L <sub>2</sub> = 320	L <sub>p</sub> = 643
2.	Rostátmérő (µm)	D <sub>0</sub> = 12,6	D <sub>1</sub> = 12,5	D <sub>2</sub> = 12,1	L <sub>p</sub> = 17,5
3.	Karcsúsági fok	S <sub>0</sub> = 30,1	S <sub>1</sub> = 27,9	S <sub>2</sub> = 26,4	S <sub>p</sub> = 36,7

A rost-mátrix kapcsolat vizsgálata érdekében a hidratációs folyamatok mérése során előállított próbatesteket mikrotechnikai vizsgálatoknak is alávetettük, melynek eredményeképpen pásztázó elektronmikroszkóp (PEM) felvételeket is készítettünk .

Megállapítást nyert, hogy az alkalmazott víz-gipsz tényezőn (x) kívül a rost és mátrix határfelületen kialakuló kristályképződés, azaz a lezajló kötési folyamatok döntő mértékben befolyásolják a szervesetlen kötésű kompozit fiziko-mechanikai tulajdonságait. A határfelületen kialakuló elemi gipsz dihidrát kristályok és a vázszerkezet kapcsolata, nem csak a hemicellulózok és egyéb inkrusztáló anyagok kötésslassító tulajdonságától függ, hanem a mindenkori vázszerkezet felületének „érdességétől” ill. anyagtartalmától is (pl.viasz, kovasav).

A fenti megállapításainkat pásztázó elektronmikroszkópos (PEM) vizsgálat elvégzésével is igyekeztünk igazolni. A gipszkötésű rostlemez éléről készült PEM felvétel is bizonyítja a rostszap egyenletes elhelyezkedését a gipsz-mátrix rendszerben

Az elemi rostszálak, mint töbttámaszú tartószerkezetek funkcionálnak, lehetővé téve ezáltal egy homogén, csomómentes lapszerkezet kialakulását.

A mért kedvező hőtechnikai tulajdonság igazolása érdekében összehasonlító vizsgálatot folytattunk egy gipszkartonlap magrészt és általunk előállított gipszkötésű rostlemez felülete között. Az azonos nagytámaszban készült PEM-felvételekből megállapítottuk, hogy a gipszkartonlapban jelenlévő nagy légzárványokkal szemben a gipszkötésű rostlemez több kisebb légpórusal rendelkezik. A kialakult kedvező hőszigetelő tulajdonság mellett az apró légpórusok páraszabályozó szerep betöltésére is alkalmasak. *A gipszkötésű rostlemez felülete így az emberi bőrfelülethez hasonlóan ún. „lélegző felületként” funkcionál (Takáts 2004).*

A mikrotechnikai vizsgálatok egyértelműen igazolták, hogy:

- a gipszkötésű kompozitok tulajdonságai a mechanikai terhelések hatására fellépő elemi szállakadások mértékétől, módjától függ. Ez különösen tört felületű gipszkötésű kompozit esetében volt jól megfigyelhetővé.
- A gipsz mátrix rendszerben pedig egyenetlenül eloszlott, „csomós” vázszerkezet a fellépő jelentős zárványképződés miatt előálló inhomogén struktúrája következtében jelentős szilárdság csökkenést eredményezett.

*a.) Részeredmények konferencián történő bemutatása:*

A pályázat elkészítése során beterveztünk a szervesetlen kötésű kompozitok tudományterülethez tartozó két legjelentősebb konferencia egyikén való részvételt. Sajnálatos módon azonban a 2004 évi költségvetés dologi kiadásainak jelentős -322 eFt-tal történő csökkentése és a megnövekedett regisztrációs (US\$625) ill. utazási és szállás költségek (230 eFt és US\$425) miatt ,sem a :

*a.) The 8<sup>th</sup> Internationale Conference Science and Technology of Gypsum and Fly Ash , June 20-22, 2004. Toronto, Ontario, Canada, sem pedig a*

*b.) The 9<sup>th</sup> International Conference Inorganic-Bonded Composite Materials, Oktober 10-13, 2004, Vancouver, British Columbia, Canada*

világkonferencián nem tudtunk résztvenni, ahol korábban egy-egy alkalommal már sikeresen mutatkoztunk be a szervesetlen kötésű kompozitok témakörben kutatási eredményeinkkel. Résztvettünk azonban két költségkímélés szempontjából is előnyösebb európai konferencián:

*a.) Advances in the drying of Wood Composites, London-Watford 2-3.febr.2004*

*b.) Wood and Wood Composites, MC/WG meeting in Oslo, 13-14.Sept.2004. Location: Norwegian Building Research Institute of Wood Technology (INT)*

*Publikációk hivatkozással az OTKA (T 043399) támogatásra:*

1. Takáts Péter, Bejő László, Vass Norbert (2004): „Különböző fa és adalékanyagok hatása a cement hidratációjára cementkötésű kompozit termékekben”. Faipar LII. évf. 4.sz.3-9.o.

### **3. A kutatómunka harmadik évében (2005) a gipszkötésű kompozitok modellezését végeztük el és laboratóriumi körülmények között formatesteket állítottunk elő**

#### *a.) Gipszkötésű kompozitok modellezése*

Ismeretes, hogy a kompozitok két- vagy többfázisú összetett rendszerek, melyekben a szilárdítást a vázszerkezet célját szolgáló erősítő anyag, a szívósságot és tartósságot pedig az adhéziós kapcsolatokat biztosító ún. mátrix rész adja (3.ábra).

A kompozitok legnagyobb előnye, hogy egyesítik a komponensek előnyös tulajdonságait és az eredeti alkotórészeknél jobb tulajdonságú és/vagy ár-értékkel rendelkező terméket biztosítanak.

A kompozit tulajdonságait tehát a mindenkor alkalmazott vázszerkezet és mátrix rész összetétele, anyaga (szerves vagy szervetlen volta) határozza meg elsősorban, különös tekintettel a vázszerkezet és a mátrix rész között létrejött kapcsolatra.

Számos kutató folytatott vizsgálatokat a kompozit szerkezetekkel kapcsolatosan és szinte valamennyien egyetértettek abban, hogy az egyik meghatározó tényező a vázszerkezet anyaga és mérete.

A legkedvezőbb tulajdonságokat a szálerősítésű kompozitok esetében tapasztalták, mivel ezek az anyagok két vagy több komponens felhasználásával, ebben az összetételben képesek megközelíteni leginkább egy homogén, nagyszilárdságú szerkezeti formát.

A kompozitok modellezésének átfogó témakörén belül a gipsz mátrixba ágyazott farostból készült kompozitok mechanikai tulajdonságainak modellezésével foglalkoztunk. A különféle kompozit anyagok tulajdonságainak a modellezésével sokan próbálkoztak már, több-kevesebb sikerrel.

Kutatásaink során bebizonyosodott, hogy a szervetlen kötésű kompozitok modellezése leginkább két tekintetben tér el más, szerves kötésű agglomerált termékektől:

- Egyrészt *a szervetlen mátrix és a szerves rostok között kémiai kötés nem létesül*; a kettő közötti kapcsolat fizikai jellegű:
  - a rost felületétől
  - a kötőanyag és a rost közötti súrlódáson
  - a kötőanyag mikroméretű behatolásán alapul
- Másfelől – *a cementkötésű rostkompozitokról* készült elektronmikroszkópos felvételek tanúsága szerint – *a szervetlen kötőanyag nem alkot egyöntetű, folyamatos bevonatot a rostok felületén, és nem tölti ki a rostok közötti teret, hanem helyenként, szemcsék és kisebb csomók formájában van jelen, és gondoskodik az egyes rostok összetapasztásáról.*
- *A rostiszap felhasználásával készült gipszkötésű rostkompozitok esetében azonban mindez a mi esetünkben igen kedvezően alakult*

A kompozit anyagok – így a gipszkötésű rostkompozitok – modellezése során először egy geometriai modellt kellett felállítani. Ennek érdekében tanulmányoztuk az adott kompozit rostszerkezetét, amire az elektronmikroszkópos felvételek jó lehetőséget szolgáltatottak

A geometriai modell felállítása után következett a mechanikai paraméterek modellezése. A hajlítószilárdság meghatározásánál feltételezhető, hogy a tönkremenetel szinte kizárólag a viszonylag alacsony húzószilárdságú szervetlen kötőanyagban, vagy a rost és a mátrix határfelületén következik be. A fenti modellezési feladatok elvégzéséhez információt kellett tehát gyűjteni a kompozitot alkotó rostok és rostkötegek geometriai paramétereivel kapcsolatban, a rostok elhelyezkedéséről a kompozit anyagon belül, valamint a kötőanyag szilárdságáról és a gipsz és farost közötti kötések erősségéről.

A szálerősítésű kompozitok struktúrájának vizsgálatával bizonyítást nyert, hogy ha egy elemi rostszálat megvizsgálunk egy kompozit folyamatos mátrix rendszerében és felírjuk az egyensúly viszonyokat, azaz:

$$(r^2\pi) \cdot \sigma_r + (2r\pi \cdot dz) \cdot \tau = (r^2\pi) \cdot (\sigma_r + d\sigma_r)$$

- ahol:  $r$  : elemi szál sugara ( $\mu\text{m}$ )  
 $\sigma_r$  : elemi szál házószilárdsága szálirányban (GPa)  
 $dz$  : elemi szál hosszúsága ( $\mu\text{m}$ )  
 $\tau$  : nyírófeszültség az elemi rostszál felülete és mátrix határon (GPa)

Ezt követően megoldva az egyenletet elemi rosthosszúságra:

$$\frac{d\sigma_r}{dz} = \frac{2\tau}{r}$$

Belátható, hogy minél kisebb az elemi rostszál sugara ill. átmérője és minél nagyobb az elemi szál határfelületén fellépő nyírófeszültség, annál nagyobb a kompozit szilárdsága, tartóssága.

Tovább vizsgálva a befolyásoló tényezőket jutottunk arra a felismerésre, hogy a rostátmérőn kívül a felületi nyíró szilárdság nagyságát minden valószínűség szerint az elemi rostszál felületi tulajdonsága (érdessége, csavarodottsága, a szálkeresztmetszet kör-vagy szegletes volta, stb.) is nagymértékben befolyásolja

A mátrix és vázszerkezett között létrejövő kapcsolat a legtöbb kötőanyag alkalmazása esetében ugyanis elsősorban mechanikai kötés formájában jön létre. Különösen érvényes ez a megállapítás a szervesetlen kötésű (cement- és gipszkötésű) kompozitok esetén. A kötőanyag és a rostfelület között létrejött *kötés tehát minden bizonnyal a szálfelület és matrix közti adhézió nagyságától, összeférhetőségétől is jelentős mértékben függ.* A fentiek tanulmányozása érdekében mikrotechnikai vizsgálatokat végeztünk, melynek keretében az elkészült gipszkötésű kompozitokról, rostlemezek és formatestek tört felületeiről elsősorban PEM felvételeket készítettünk és így vizsgáltuk a felület és mátrix rész között létrejött valós kapcsolatokat

Az egyenletes homogén gipsz-mátrix rendszerben beágyazott *elemi rostszálak halmaza és szálkiszakadások* a gipszkötésű rostlemez tört felületén a vázszerkezet és a mátrix rész között kialakult *igen kedvező adhéziós kapcsolatokat igazolják.*

Az NYME Lemezipari Tanszékén készült *gipszkötésű rostlemez* képelemzése során rögtön szembetűnik, hogy:

- az elemi rostszálak diszpergált, többtámaszú tartószerkezetet létrehozó halmaza egy szinte tökéletes homogén kompozit szerkezetet reprezentál.
- a háttérben jól megfigyelhető a mátrix rész egyenletes porozitású kalciumszulfátdihidrát kristályszerkezete, mely a korábban ismertett kiváló épületbiológiai tulajdonságokra is magyarázattal szolgál

A kísérletek során az egyenletes anyagösszetétel és megnövekedett nyílt idő jó formálhatóságot biztosított, lehetővé téve ezáltal művészi kompozíciók mellett figurális stucckók, saroklezáró és díszítő elemek elkészítését is.

A kutató munka során *nedves-, félszáraz – és un. „száraz”* eljárással is készítettünk eredményesen gipszkötésű kompozitokat, melynek során sikerült lecsökkentenünk az öntő eljárásnál alkalmazott víz-gipsz tényezőt ( $w = 0,6-0,8$ ) az un. „száraz” eljárással  $w = 0,25-0,30$  értékre.

*b.) Gipszkötésű formatestek előállítása*

A mai modern belsőépítészetben, egyre nagyobb népszerűségnek örvendenek a különböző gipsz alapú formatestek alkalmazása.

A felújítások során a gipszszobrász és szárazépítési munkák szempontjából három egymástól jól elkülöníthető területet különböztethetünk meg:

- műemlék védelem alatt álló, vagy műemlék szempontból értékes részek,
- történelmi, historizáló részletek,
- szárazépítés, modern építészet

területei.

A kutatómunkánkat a gipszkötésű rostlemezek előállítása mellett így a formatestek készítése irányában is igyekeztünk kiterjeszteni. *A hagyományosan tiszta gipszből készült stukkókkal szemben ez a szerves vázszerkezetet tartalmazó gipszkötési kompozit ugyanis elsősorban kisebb tömegével, repedés- ill. feszültségmentes felületével, alacsonyabb önköltségével válhat versenyképessé.* A kísérleteket a világhírű Nemzetközi Kerámia Stúdió Kht. ,Kecskemét gipszműhelyében végeztük el, mely jelenleg mint a NYME Faipari Mérnöki Kar Szilikát Művészeti Tanszékeként is funkcionál.

A formatesteket a nedves eljárásnál kidolgozott technológia alkalmazásával készítettük, különös tekintettel a rostsziszap kötéslassító és a mésziszap öntheticéget és területét elősegítő tulajdonságára. A kísérletek során a nedves gyártási eljárásnál már jól bevált receptúra és technológiai paraméterek szerint készítettünk a három másodnyersanyag felhasználásával különféle holkerszegélyt ill. gipsz stukkót.

A rostiszap, mésziszap és gipsz alapanyag felhasználásával készült szuszpenzió *a hagyományos öntő eljárásoknál alacsonyabb víz-gipsz tényezővel ( $w = 0,5$ ) készült*, miközben igen kedvező területi feltételeket és formaképző tulajdonságokat mutatott.

A mésziszap adalékanyagként történő felhasználása a tiszta gipsz stukkó gyártásnál hagyományosan alkalmazott víz-gipsz tényezőnél ( $w=0,6-0,8$ ) alacsonyabb érték ( $w=0,5$ ) alkalmazását tette lehetővé megegyező területi feltételek mellett.

- A csökkentett víztartalom felhasználásával készült formatestek a kikötést ill. száradást követően ennek következtében kevesebb légzárvánnyal, így egyenletesebb kompozit szerkezettel rendelkeztek, melynek igazolása céljából PEM vizsgálatokat is végeztünk.
- *A rostiszap, mésziszap és gipsz felhasználásával készült gipszkötésű formatestek új lehetőségként értékelendők a szerves kötésű formatestek területén.*
- *A formatestek gyártása területén még nemzetközi viszonylatban sem találtunk cellulóz ill. papírgyári másodnyersanyagok felhasználásával készült hasonló termékekre utalást.*
- *A rost-gipsz rendszerek területén sikerült bebizonyítani, hogy előnyösen megválasztott anyagokkal a hagyományosnál könnyebb gipszkötésű formatest kompozitok is előállíthatók.*
- *A kutató munka eredményei Takáts Péter (2006): „Növényi eredetű és szerves hulladékok hasznosítása gipszkötésű kompozitokban” c. és beadásra került MTA Doktori értekezésében, mint részeredmény került publikálásra.*

#### **4. A kutatómunka negyedik évében (2006) gipszkötésű kompozitok határfelületi jelenségeinek vizsgálata, kutatási eredmények összefoglalása, publikáció.**

##### *a.) Gipszkötésű kompozitok határfelületi jelenségeinek vizsgálata*

A határfelületi kristályképződés vizsgálatával megállapítottuk, hogy a szerves kötésű kompozitok területén a kompozit szilárdságára a rostátmérő mellett a mindenkori szerves vázszerkezet felülete és annak kémiai összetétele döntő befolyással bír.

Ez a hatás más eddig ismert kompozitokhoz képest- még hangsúlyozottabb befolyást gyakorol, különös tekintettel a cement ill. gipsz mátrix rész közötti adhéziós kapcsolat kialakulására, melynek valódiságát PEM felvételekkel sikerült bizonyítani..

A kalciumszulfát-dihidrát szerkezetbe ágyazott rostiszap a mátrix és vázszerkezet között létrejött kiváló adhéziós kapcsolatra utal. A rostszál felületét összefüggő kalciumszulfát-dihidrát kristályszerkezet fedi, elzárva ezáltal tűz esetén a rostot a levegő oxigéntartalmától.

A rostiszap határfelületén kialakult kalciumszulfát-dihidrát kristályok:

- egyértelmű magyarázattal szolgálnak a gipszkötésű rostlemezek kiemelkedő tűzállóságára (AI).
- A rostfelületen jól megfigyelhetők az olytókristályokhoz kapcsolódó egyedi kristályok halmaza.

##### *b.) Kísérleti munka összefoglalása*

A kutatómunka során egyértelműen igazolást nyert, hogy a cellulóz- és papírgyári másodnyersanyagként keletkező rostiszap ill. mésziszap megfelelő technológiai paraméterek mellett alkalmassá tehető gipszkötésű rostlemezek ill. formatestek előállítására.

- A rostiszap felhasználásával készült gipszkötésű kompozitok ennek figyelembevételével tehát új lehetőségként értékelendők a szerves kötésű kompozitok területén.
- Legjelentősebb eredménynek - a másodnyersanyagbázison történő anyagfelhasználás mellett - egy általunk kidolgozott „száraz eljárás” keretében, az eddig használt technológiai paraméterekhez képest alacsonyabb víz-gipsz tényezőt ( $w = 0,25-0,30$ ) és eddig még nem alkalmazott és magasnak mondott ( $x = 0,24$ ) rost-gipszt tényezőt tekinthetjük.
- Az előállított gipszkötésű rostlemezek ill. formatestek előnyös tulajdonságait a következő megállapítások is alátámasztják:

##### *Nedves eljárás:*

- A nedves eljárás legnagyobb előnyeként a homogén rost-gipsz rendszer kialakítása mellett a gipszkarton lapokhoz közeli térfogati sűrűségi értékeket és jobb hajlítoszilárdságot tekintjük.
- A felhasznált mésziszap, a rost-gipsz diszperzrendszer viszkozitásának csökkentése révén az öntő eljárásnál alacsonyabb víz-gipsz tényező ( $w = 0,5$ ) alkalmazását tette lehetővé.
- A lapszerkezet hőtechnikai szempontból kedvező porozitása mellett a "lélegző felület" páraszabályozó képessége további előnyként értékelendő.
- A mésziszap deflokkuláló hatása mellett tovább javította a rost-gipsz rendszer diszperzítését.
- A gipszkötésű rostlemezek jólismert kiváló tűzállósági tulajdonságát a rostiszap felhasználásával készült lemezek is meggyőzően igazolják.

- A gipsz-dihidrát kristályszerkezettel határolt rostiszap felületi védőréteggént funkcionál mely magas hőmérsékleten hosszabb időtartamig (t = 45-50 min.) képes izolálni a levegő oxigéntartalmát a szerves cellulózvázától.
- Jelentős kristályvíztartalmával magyarázható, hogy a többi gipszkötésű rostlemezhez hasonlóan csak lassú pirolitikus bomlás lejátszódását teszi lehetővé. (A kristályvíztartalom 1 m<sup>2</sup> felületű és 15 mm vastag gipszkartonlapban közel 3 liter).
- A rostfelületen adszorbeálódott finom kristály részecskék a gipsz-mátrix rendszer és rostiszap között mind hídképző olytokristályok is funkcionálnak, amit a PEM felvételek is igazoltak

#### Félszáraz eljárás

- A félszáraz eljárás alkalmazása esetén vált egyértelműen felismerhetővé a mésziszap rostfellazítást elősegítő hatása, viszonylag magas nedvességtartalom (u = 80-125%) alkalmazása mellett.
- A megfelelő nagyságrendben alkalmazott precipitált mésziszap csökkentett mennyiségű kötésyorsítótanyag adagolást tett szükségessé.
- A kidolgozott és bevezetett gyorskeverési metodika tovább javított a rost-gipsz keverék homogenitásán, teríthető képességén.

#### „Szárász” eljárás

- A mésziszap felhasználásával kidolgozásra került rostfellazítási technológia további új megoldások alkalmazását tette lehetővé:
- Magasabb rost-gipsz tényező (x = 0,24) mellett is megfelelő homogenitású, jól kezelhető rost-gipsz keverék előállítását sikerült elérni.
- Az alacsonyabb víz-gipsz tényező (w = 0,25-0,30) kedvezőbb fiziko-mechanikai tulajdonságok kialakulásához vezetett valamennyi laptípus esetében. A legmagasabb hajlítószilárdsági értékek a REA-gipsz esetében adódtak.
- A rostok kedvező filcelődése következtében kialakult homogén lapszerkezet növekvő csavarállóságot biztosított.
- A gipszkötésű rostlemez a Fermacell lapokhoz hasonló kedvező feldolgozhatósággal rendelkeznek, fűrészelhetők, éles szerszámmal való berajzolást követően vonalmentén „törhető”.
- A lapok fiziko-mechanikai tulajdonságai nem maradnak el a hasonló felhasználási célra alkalmas ismert gipszkötésű kompozit lemezekétől. (6. Táblázat)

### Gipszkötésű kompozitok fiziko-mechanikai tulajdonságai

6. táblázat

Ssz	Megnevezés	Gipszkartonlap (Knauf, Rigips)	Gipszkötésű forgácslap (Sasmox, Arborex)	Gipszkötésű rostlemez		
				FERMACELL	WÜRTEX	LABOR
1.	Vázszerkezet	karton	faforgács	hulladékpapír	hulladékpapír	rostiszap
2.	Kötőanyag	gipsz-félhírát	gipsz-félhírát	gipsz-félhírát	gipsz-félhírát	gipsz-félhírát
3.	Termékforma	lapalapú	lapalapú	lapalapú	lapalapú	lapalapú
4.	Sűrűség (kg/m <sup>3</sup> )	820-1000	1000-1200	1000-1180	1040-1180	1050-1200
5.	Hajlítószilárdság (N/mm <sup>2</sup> )	3,0-8,0	6,0-9,9	4,0-7,0	5,0-7,0	4,5-7,0
6.	Rugalmassági modulus (N/mm <sup>2</sup> )	3500-4600	3000-5000	4000-5000	2500-4000	3200-4700
7.	Nyomószilárdság (N/mm <sup>2</sup> )	8,0-9,5	-	-	-	14,0-18,0
8.	Lapleemelő szilárdság (N/mm <sup>2</sup> )	-	0,35-0,50	-	-	-

9.	Hővezetőképesség (W/m <sup>0</sup> K)	0,18-0,21	0,2	0,29	0,35	0,15-0,28
10.	Csavarállóság (N/m)	6,0-8,0	37-75	30-50	30-40	34-52
11.	Vastagsági dagadás 2 órás (%)	1,5-3,0	1,2-1,5	0,6-1,0	1,0	0,6-1,0

A táblázatból egyértelműen kítűnik, hogy az általunk előállított gipszkötésű rostlemezek, nem hogy elmaradnak, hanem sok esetben messze meghaladják a hasonló szervesetlen kötésű kompozitok tulajdonságait. Az elért eredményeket a növelt rost-gipsz tényezővel ( $x = 0,24$ ) készült lapok mikrotechnológiai vizsgálata is alátámasztotta.

Az általunk elkészített gipszkötésű rostlemez más szervesetlen kötésű kompozitokkal (BETONYP cementkötésű forgácslap és HERAKLITH fagyapotlemez) közös felhasználásban kiválóan alkalmassá tehető a könnyített szerkezetű panelos faházépítés céljára.

A fenti 160 mm vastagságú falszerkezet (balról-jobbra):

- Gipszkötésű rostlemez: 10 mm
- Isolyth „L” hőszigetelés: 80 mm
- Párazáró fólia:
- Betonyp lemez: 12 mm
- Légrés: 18 mm
- Dryvit vakolatrendszer: Heraklith lemez 35 mm
- Vakolat 5 mm

kiemelkedő épületbiológiai tulajdonságainak köszönhetően (hőátbocsátási tényező:  $k = 0,35$  W/m<sup>2</sup> °K) egy 2 x 38 cm vastagságú téglafallal egyenértékű paraméterekkel rendelkezik.

#### *Gipszkötésű formatestek*

- A rostiszap, méziszap és gipsz felhasználásával készült gipszkötésű formatestek új lehetőségként értékelendők a szervesetlen kötésű formatestek területén
- A formatestek gyártása területén még nemzetközi viszonylatban sem találtunk cellulóz ill. papírgyári másodnyersanyagok felhasználásával készült hasonló termékekre utalást,
- A rost-gipsz rendszerek területén sikerült bebizonyítani, hogy előnyösen megválasztott anyagokkal új és a hagyományosnál könnyebb gipszkötésű formatest kompozitok is előállíthatók.

#### *Publikációk hivatkozással az OTKA (T 043399) támogatásra:*

1. Takáts Péter (2006): „Mezőgazdasági hulladék bázison közepes sűrűségű gipszkötésű formatest kompozitok előállítása és kötésmechanizmusának vizsgálata” Kutatásfejlesztés a Faiparban 7. sz 9-10.o.
2. Takáts Péter, Winkler András, Alpár Tibor, Bittman László, Bejő László (2006): „Sarangolt faválasztékok és alternatív lignocellulóz anyagok felhasználási lehetőségei a lemezgyártásban „ Faipar LIV. évf. 2-3.sz.3-8.o.
3. Peter Takats, Alexandra Takats (2006): „Fiber sludge as reinforcing material of gypsum fiberboard and stucco”. JSPS Japan and Hungary Research Cooperativ Program/ Joint Seminar, Noshiro, Institute of Wood Technology Akitarefectura University, JAPAN Oktober 16-19. 2006. Finel Program and Abstract 28.o. (Az előadás részletes anyaga kilenc oldal terjedelemben megjelenés alatt)