

Különböző fa- és adalékanyagok hatása a cement hidratációjára cementkötésű kompozit termékekben. I. rész: elméleti háttér

Takáts Péter, Bejő László, Vass Norbert *

The effect of various wood materials and additives on cement hydration.

Part 1: theoretical background

The hydration of cement bonded wood composites was investigated to aid the development of cement bonded beams. This article introduces the basics of cement bonded wood composites, gives a detailed description regarding cement composition and hydration and discusses the effect of wood on the setting and properties of cement. The follow-up article will describe the experimental work and its results.

Key words: Cement bonded wood composites, Hydration, Inhibition

Bevezetés

Hazánkban az elmúlt évtizedekben számos olyan kutatás folyt, mely a szervesetlen kötésű faalapú kompozitok létrehozására irányult. A kutatások során megállapítást nyert, mely fafajok alkalmasak sikerrel ezen termékek előállítására. Mára számos gipsz- és cementkötésű kompozitféleség alakult ki. Ezen termékeket különböző sűrűséggel és eltérő tulajdonsággal állították elő, és többnyire építészeti célokat szolgáltak. Közös jellemzőjük azonban, hogy – eltekintve a faapríték alapú falazóblokkoktól, gipszkötésű formatestektől – szinte kizárólag lemezek formájában készültek, és szervesetlen mátrix részük szinte minden esetben jelentősen javítja a faanyag éghetőségi besorolását (Takáts 1998, Winkler 1998).

A közelmúltban felmerült a szervesetlen kötésű kompozit gerendák létrehozásának lehetősége is. A szerzők kísérletet tettek ilyen termékek létrehozására. A kezdeti kísérletek elsődleges célja az volt, hogy megállapítsuk: alkalmasak-e a szervesetlen kötésű kompozit rendszerek nagy szilárdságú teherviselő elemek létrehozására. Ezekről a kísérletekről egy külön publikációban számoltunk be (Bejő és tsai. 2004).

A szervesetlen kötésű kompozitok esetében a kapott szilárdsági eredmények elemzéséhez a hidratációs kísérletek sok segítséget nyújtanak. A mérések során kapott hidratációs görbék információt adhatnak a cementszilárdulás időbeni alakulásáról, a hidratáció sebességéről, melyből következtetni tudunk a szilárdulás

mértékére, illetve a rendszerhez adagolt egyes alkotórészek – mint a fafaj és a kötésyorsító – hidratációt befolyásoló hatására. Éppen ezért a kompozit gerendák létrehozására irányuló kísérletekkel párhuzamosan vizsgáltuk az alkalmazott kompozit rendszerek, illetve a cement alapanyag hidratációját is. E kísérletek eredményeiről számolunk be két közleményből álló cikksorozatunkban.

A cementkötésű kompozitok kötésmechanizmusa, a cement hidratációja, valamint a faanyagának a cement kötésére kifejtett hatásának témaköre igen összetett. Cikksorozatunk bevezető darabjában éppen ezért szeretnénk röviden áttekinteni a cementkötésű kompozitokkal kapcsolatos legfontosabb tudnivalókat. A kísérletek leírását és eredményeit, valamint az azokból levonható következtetéseket a sorozat második részében ismertetjük majd.

A kísérletek elméleti háttere

A szervesetlen kötésű kompozit termékek cement, vagy gipsz mátrix rendszerbe ágyazott lignocellulóz, esetenként anorganikus részecskék, elemi rostszálak szilárd halmazát jelentik (Takáts 1998). Mint a meghatározásból kitűnik ezen kompozitok – melyek lehetnek lemezek, formatestek ill. építő blokkok – kötőanyagául a cement és gipsz különböző fajtái szolgálhatnak. A szilárdítást szolgáló vázrendszer alapját pedig szerves (illetve esetenként szervesetlen) váz képezi. Természetesen a fő alkotórészek mellett a szervesetlen kötésű kompozit termékek

* Dr. Takáts Péter CSc. egy. docens, Dr. Bejő László PhD. tudományos munkatárs, NyME Fa- és Papírtechnológiai Intézet, Vass Norbert okl. faipari mérnök

gyártásakor egyéb kémiai adalékanyagok (pl. kötőszabályozók) is felhasználásra kerülnek.

A gyártott termék tulajdonságainak alakulását döntő mértékben a következők befolyásolják (Takáts 1995a):

- a termék térfogati sűrűsége,
- a mátrix rendszer kialakulásában résztvevő szervesetlen kötőanyag fajtája (cement, gipsz), és azok jellemző paraméterei (ásványi összetétel, fajlagos felület, stb.),
- a vázszerkezetként szolgáló agglomerált anyagrészcsek mennyisége és azok cementkötést akadályozó járulékosanyag-tartalma,
- az alkalmazott kötőszabályozó anyag kémiai összetétele és mennyisége.

A kutatómunka elért eredményeinek elemzéséhez segítséget nyújthat a fa-cement rendszerek kötésmechanizmusának vizsgálata, mely a szilárdság alakulásának okairól fontos információt ad számunkra. A kötet elvi szempontok alapján két nézőpontból kell megvizsgálnunk. Az egyik maga a szervesetlen kötőanyag megszilárdulása, a másik a kötőanyag és a szilárdítást szolgáló – a rendszer vázanyagát biztosító – anyagrészcsek közötti interakció. A kettőt azért fontos megkülönböztetni, mert amíg a kötőanyag és a szerves alkotóelem között fizikai kötések jönnek létre, addig a szervesetlen kötőanyagok megszilárdulása kémiai reakció következménye.

A cement, mint kötőanyag

A szervesetlen kötésű kompozitok előállításánál a legkülönbözőbb inorganikus kötőanyagok alkalmasak a mátrix rész kialakítására. Ezeknek a szervesetlen anyagoknak a csoportosítása során megkülönböztetünk nem hidraulikus (csak levegőn megszilárduló, ugyanakkor víz hatására oldódó, esetleges képlékenyvé váló) és hidraulikus (levegőn és vízben is megszilárduló, gyakorlatilag oldhatatlan) kötőanyagokat. Ezek a következők:

Nem hidraulikus kötőanyagok:

- mész
- gipsz
- magnézium cement

Hidraulikus kötőanyagok:

- hidraulikus mész
- portlandcement
- kohósalak cement
- puccoláncement
- kompozitcement
- aluminátcement (bauxitcement)

A továbbiakban a fenti kötőanyagok közül a kísérleteink alapját képező portlandcement tulajdonságait tárgyaljuk.

A tiszta portlandcementek két fő alkotója a megfelelő mennyiségű mészkő (70-80 %) és agyag (20-22 %) zsugorodásig való égetése által előállított klinker. Ehhez a kötőszabá-

1. táblázat – Főbb klinkerásványok a portlandcementben, és azok tulajdonságai (Hachmi és Cambell 1989)

Klinkerásvány	Képlet	Röv.	Tulajdonságok	Mennyiség (tömeg %)
Trialkalcium-szilikát (ALIT)	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	C_3S	maximális kezdeti szilárdság nagy hidratációs hő	25-60
Dikalسيوم-szilikát (BELIT)	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	C_2S	négy módosulata közül a legfontosabb a β -módosulat lassú kezdeti szilárdulás megfelelő utószilárdulás alacsony hidratációs hő	12-20
Trialkalcium-aluminát	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	leggyorsabban köt, legnagyobb hőt termeli gipszkővel lassítható a túl gyors kötés.	4-12
Tetralcium-aluminát-ferrit	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ $\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	lassan köt, a legkisebb szilárdságú összetevő	8-12

lyozás céljából 4-5 % gipszkövet adagolnak, melyeket együttesen finomra őrölnek. A mészkő adja a mésztartalmat, az agyag pedig a SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 tartalmat. Az utóbbi alkotók bevitele céljából még homokot, löszöt, kohósala-
kot és pernyét is használnak. A nagy hőmérsék-
leten történő kezelés a klinkerégetés, melynek
során a klinkeralkotó oxidokból hidraulikus
tulajdonságokat hordozó klinkerásványok ala-
kulnak ki. A portlandcement tehát tulajdon-
képpen ezeknek a klinkerásványoknak komplex
keveréke (**1. táblázat**).

A klinkerásványok összetétele és tulajdonságai a hidratációs folyamatokat ill. a megkötött beton szilárdságát is meghatározzák. A jó minőségű klinkerásványokban az azokat alkotó oxidok mennyisége csak bizonyos tömegszázalék határok között változhat (**2. táblázat**).

A portlandcement kikötését az **1. táblá-
zatban** ismertetett négy fő klinkerásvány hidra-
tációjával magyarázzuk. A cement ugyanis a
hozzákevert vízzel szemben instabillá válik. A
létrejött cementpép a végbemenő igen bonyolult
fizikai-kémiai folyamatok hatására először el-
veszti képlékeny állapotát, majd szilárdsága
egyre gyorsabb növekedésnek indul. A szilárdu-
lást elsősorban a kalcium szilikátok hidratációja
okozza. Így a cementkő illetve beton szilárd-
ságának hordozói a nagy fajlagos felületű
kalcium-szilikát hidrátok.

Ezek a C_3S (alit) és $\beta\text{C}_2\text{S}$ (belit) klinkerásványok szilárdulása során keletkeznek, és mindaddig stabilak maradnak, amíg a kémhatás a környezetükben $\text{pH}=7,0$ alá nem csökken. A cement hidratációja során a klinkerásványok kristályosodnak, szilánkosodnak, és a vizet kalcium-szilikát-hidrátok formájában megkötik.

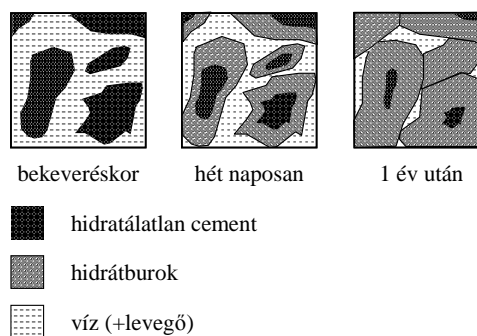
2. táblázat – A különböző oxidok mennyisége a klinkerásványokban

Oxidok	mennyiségük (%)
CaO	60 – 70
SiO_2	19 – 24
Al_2O_3	2 – 8
Fe_2O_3	2 – 6
MgO	1 – 5
szabad CaO	0 – 1
egyéb	0 – 3

A cement szilárdulása hagyományosan három fő szakaszra bontható:

1. A kötési folyamat, melynek során, a szilárd anyagrészek között egy gélszerű kapcsolat jön létre, mely hídkepződmények kialakulását és a víz-cement rendszer viszkozitásának növekedését eredményezi. Ez az első állapot addig tart, amíg a cementpép körömmel megkarcolható.
2. A szilárdulás vagy más néven cementáció, mely alatt általában a 28 napig bekövetkező szilárdságnövekedést értjük. Ekkor a diszkrét részecskék hidratációjánál keletkező kolloid termékekből álló hidak képződése és a részecskék egymás közötti kapcsolata jön létre.
3. Az utószilárdulás, mely a 28. nap után a víz és a levegő széndioxidtartalmának hatására bekövetkező szilárdságnövekedés.

A kötés és a szilárdulás mechanizmusa nagyon hasonló. A két folyamat nem különül élesen el egymástól, közöttük az átmenet fokozatos. A víz hatására ugyanis az égetés folyamán keletkező klinkerásványok (kalcium-szilikátok, kalcium-aluminátok stb.) szilánkosodnak, felhasadnak és a vizet kalcium-szilikát-hidrátok (CSH) ill. kalcium-aluminát-hidrátok (CAH) alakjában megkötik, mely folyamatot közös néven hidratációnak nevezzük. A hidratáció során először telített, majd túltelített kolloidális oldat keletkezik. A cementszemcsék felületén vékony kocsonyaszerű anyag, gélréteg jön létre, amelyből idővel (évek folyamán) kristályok keletkeznek (**1. ábra**). A cementpép e folyamat hatására először megdermed, majd fokozatosan kőszerűvé válik, aminek cementkő a neve (Balázs, 1984).



1. ábra – A cement hidratációja (Balázs 1984)

Láthatjuk tehát, hogy a finomra őrölt klinker és a víz között hidrolízis és hidratációs folyamatok játszódnak le, melyet egy többlépcsős fizikai-kémiai folyamattal magyarázhatunk. Ez a folyamat tulajdonképpen három szakaszból áll:

Intenzív (fokozódó) szakasz, mely a víznek a C_3S és C_2S felületi adszorpciójából, és a legfontosabb klinkerásvány, a trikálcium-szilikát (C_3S) felületéről történő intenzív Ca^{2+} ion lehasadásából áll. Ez az első szakasz nagy hőfejlődéssel jár, melyért egyrészt a nedvesítési hő, másrészt az intenzív Ca^{2+} és OH-ionok oldatba jutása okoz. Ebben a szakaszban megkezdődik az első kristályos szerkezet, az ún. ettringit kialakulása.

Az önindukciós (öngerjesztő) szakaszban a hidratációs folyamat szinte nyugvó állapotba kerül, a hőfejlődési sebesség teljesen lecsökken. A hidratációs folyamatnak ez egy fontos része, hiszen a későbbi kristályok kristálymag képződésményei (nukleusok) ebben az időszakban alakulnak ki. A klinkerszemcsék mohón igénylik a vizet és a szemcsék körül kialakult gélhártyákon (félígáteresztő membránokon) át vízdifúzió indul meg a klinkerszemcsék felé. Eközben a szemcsékkel érintkező oldat Ca^{2+} és OH-ion koncentrációja állandóan nő. Ennek eredményeképp a hártya és a szemcse között túltelített oldat jön létre, mely a periódus végéig áll fenn. A félígáteresztő membránon keresztül a Ca^{2+} ion kidiffundál, melyre a SiO_2 ionjai méretüknél fogva nem képesek. Ennek következtében a belső részben SiO_2 ionban, a külső részben pedig OH- és Ca^{2+} ionban dús oldat keletkezik. A hártya belsejébe jutó vízmolekulák a kifelé igyekvő Ca^{2+} ionok helyére próbálnak beférni, ami csak az ozmotikus nyomás növekedésével lehetséges. A cement néhány órán át való bedolgozásának lehetőségét ez a folyamat teszi lehetővé. E periódus végével veszi kezdetét a cement kötése.

Az akcelerációs szakasz kezdetével újabb erőteljes hőfejlődést tapasztalunk. Ez a kezdetől számított 4-8 óra elteltével következik be. E szakasz kezdetén az ozmotikus nyomás hatására a szemcséket korábban bevonó gélhártya szétrobban, és új felületek keletkeznek a régiek helyett. A kristálymagok növekedni kezdenek, és hosszúrostú, szálal kalcium-szilikát-hidrátok

jönnek létre. A hőfejlődés sebessége újból nagy lesz mindaddig, míg a gélhártyák ismét telített állapotba nem kerülnek, ugyanis a határhártyán belül a klinkerszemcsék hidratációja ismét nehézkessé válik. A reakció ismét lelassul, a hőfejlődés lecsökken. A korábbi indukciós szakaszban beindult $Ca(OH)_2$ kiválás ebben a szakaszban nagy mennyiségben figyelhető meg, mely felelős a 13-14 pH értékű lúgos közeg kialakulásáért. Ez az egyik feltétele a vasbeton szerkezetben lévő acél korrózió elleni védelmének. A faalapú kompozitok esetében viszont ez a lúgos közeg huzamosabb idő elteltével faanyag-degradációt eredményez. A $Ca(OH)_2$ kiválás folyamatát ezért igyekszünk különböző vegyianyagok hozzáadásával gyorsítani (Takáts, 1995b).

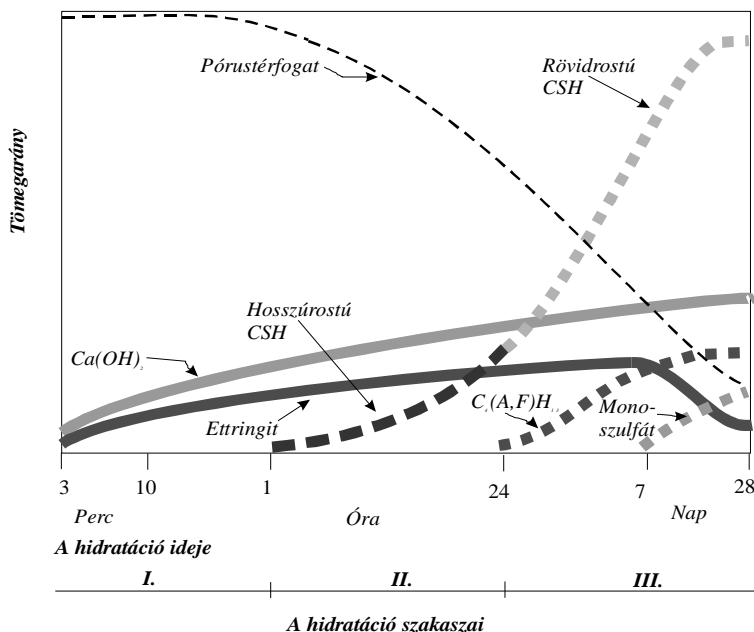
A harmadik szakasz befejeztével, a cementkötés végén a klinkerszemcséknek még csak mintegy 15-20 m%-a hidratálódott. A részecskék további hidratációja már szilárd rendszerben történik, mely akár éveken át lejátszódó folyamat is lehet, ugyanis a hidratációs szakaszok egyre ritkábban és kisebb intenzitással ismétlődnek.

A cementhidratáció mechanizmusát, időbeni lefutását, a kialakuló hidráttermékek tulajdonságát számos tényező befolyásolja. Összefoglalóan elmondhatjuk, hogy a hidratáció első, kezdeti szakaszában az ettringit képződés, a másodikban a hosszúrostú kalcium-szilikát-hidrátok, a harmadik szakaszban pedig a rövidrostú, nagy szilárdságot biztosító kalcium-szilikát-hidrátok keletkezése jellemző (**2. ábra**).

A kedvező szilárdsági értékek elérésének érdekében – ezek szerint – a hidratáció sebességét kell befolyásolnunk és irányítanunk. Ennek ellenőrzésére szemléletes módszerként a hidratációs hőmérséklet lefutásának mérése szolgál. Ezzel a módszerrel a fentiekben említett három hidratációs szakasz jól nyomon követhető.

A faanyag cementhidratációt befolyásoló hatása

Ha az építőiparban használt szervesetlen kötési építőanyagokat a cementkötésű forgácslapokkal, rost- illetve fagyapotlemezekkel összehasonlítjuk, azt tapasztaljuk, hogy ez utóbbi termékek – bár hasonló kötőanyaggal



2. ábra – A hidratáció időbeni alakulása (Alpár 2000)

készülnek – alacsonyabb szilárdsági értékeket mutatnak. Ezek okai a következők:

- Az alkalmazott szervesen kötőanyag egyáltalán nem, vagy csak részben köt a faanyaghoz, mely a fa-cement rendszerek egyik legnagyobb problémája. Ugyanis a faanyag és a cement között elsőrendű kémiai kötés nem létesül, ezért ezeknek a kompozitoknak szilárdságát elsősorban a köztük kialakuló mechanikai kapcsolat adja. A folyékony cementmassza behatol a fa repedéseibe, mikroszkópikus és makroszkópikus réseibe, valamint a sejt falába, és a felületi egyenetlenségeken megszilárdulva a kristályos formájú cement összekapcsolja egymással a faelemeket.
- Jelentős eltérések mutatkoznak a komponensek elasztó-mechanikus tulajdonságában, duzzadási-zsugorodási tulajdonságaik nagyságrendjében is, melyek az előbb említett szilárdsághordozó kapcsolatot tovább gyengítik.
- A kompozit vázszerkezetét alkotó faanyag hatással van a kompozit kötőanyagaként szolgáló cement kötésének folyamatára.

A fa cellulózból, hemicellulózból (poliozok), ligninből és járulékos anyagokból (extraktumokból) áll, mely fakomponensek százalékos összetevői fafajtól függenek, azon belül is változnak és minden fafajra jellemző

értéket mutatnak (Molnár és tsai. 2000). Sandermann és Kohler az '50-es évek végén kutatások során bizonyították, hogy a cementnek a fához történő kötését a fában lévő vízdoldható anyagok, az ún. „cementmérgek” gátolják (Simatupang és tsai. 1992). Ilyen anyagok a szénhidrátok (egyszerű cukrok, cukorsavak, hemicellulózz) és az extrakt vagy járulékos anyagok.

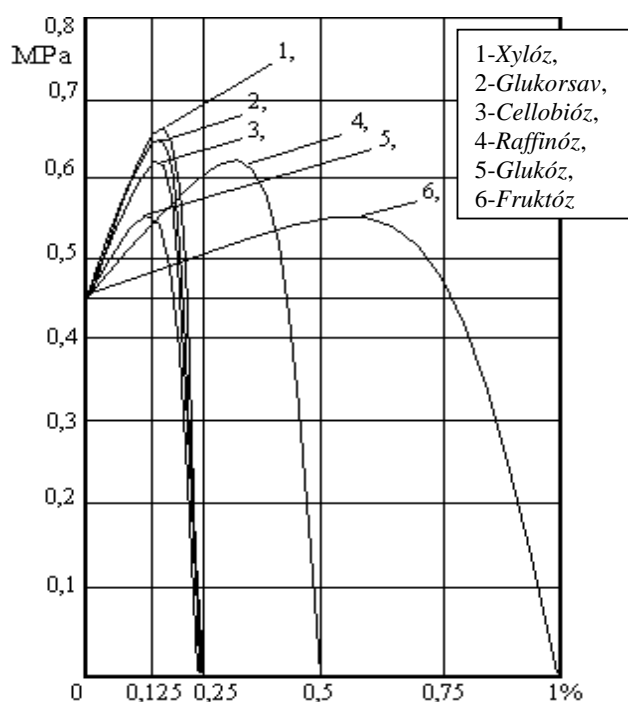
A hemicellulózzok közül a mannozok, xylánok, galaktánok, arabinánok jelenlétét sikerült kísérletekkel igazolni. Bizonyították, hogy a lombos fákban 25-30% xylán van, míg a tűlevelűek ebből a komponensből csak 5-10%-ot tartalmaznak. Ez természetesen függ a fa termőhelyi adottságaitól is (pl. ártéri terület, homokos-löszös talaj stb.) (Takáts 1995b).

A korábbiakban leírtak szerint, a cement-hidratáció korai szakaszában a dikalcium- és trikalcium szilikátok (C_2S és C_3S) hidratálódnak és tobermorit-gélt és kalcium-hidroxidot képeznek. A cement súlyszázalékának kb. 25%-a alakul át kalcium-hidroxiddá, amely 12,5-re növeli a cementmassza pH értékét. Ez erősen lúgos kémhatást jelent. A hemicellulózzok alacsony molekulásúlyú, 100-270 polimerizációs fokkal rendelkező, amorf polimerek, melyek vízben oldódnak, lúgosak és meglehetősen reaktívak. Ezen okok miatt könnyen dagadnak, oldódnak és degradálódnak, mely az erősen lúgos kémhatás következtében be is következik. Így bizonyos mennyiségű hemicellulózz oldhatóvá válik, mely erőteljes késleltető hatással van a cement hidratációjára (Fenger és Wegener 1989).

Az extraktumok, melyek szintén kevert összetételű komplexumok, gátolják a cementnek a fához történő kötését. Ezek tartalmazhatnak gyantát, zsírsavat, terpentint, fenolt, tannint, egyszerű cukrokat és sókat, mely összetevők a különböző fafajokban meglehetősen változóak mind tartalom, mind oldhatóság szerint. Lieber és Richartz reakciósebesség vizsgálatai igazolták, hogy 0,3 %-nál nagyobb cukormennyiség lassítja a hidratációt (Lieber és Richartz, 1973). A cukortartalomra vonatkozó vizsgálatok

3. táblázat – a cement hidratációját befolyásoló egyéb tényezők (Takáts 1998)

<i>Befolyásoló tényezők</i>	<i>gyorsít</i>	<i>lassít</i>
A cement szemcsemérete	finom őrlés	durva őrlés
A cementpép hőmérséklete	hőérlelés	hűtés
Víz-cement tényező	kisebb	nagyobb
Fa-cement tényező	kisebb	nagyobb
Kémiai adalékanyagok		bórax
	Ca Cl ₂	dextrium
	Al Cl ₃	cukor
	Na ₂ Cl ₃	citromsav
	CH ₂ CaO ₄	lignoszulfonsav
	Na ₂ SO ₄	Al ₂ SO ₄



3. ábra – Cukrok hatása a cement hidratációjára (Alpár 2000)

megerősítették, hogy a cement tömegére vonatkoztatott 0,25%-os cukortartalom már teljesen meggátolja a cementhidratációt (**3. ábra**). Elektronmikroszkópos vizsgálatokkal kiderítették, hogy a cukrok adszorbeálódnak az alit felületén, ezáltal annak reakcióját a vízzel gátolják (Alpár 2000).

Más kísérletek eredményei azt is megmutatták, hogy a fa extraktanyagának oldható lúgos frakciója járulékos hatást gyakorol a cementkeményedés tulajdonságaira. Amilyen mértékben nőtt a lúgos komponens mennyisége,

úgy csökkent a minta szilárdsága. Ilyen hatása lehet pl. a gombakárosításnak ill. fény- és hőhatásnak kitett faanyagoknak, hiszen az nagyobb mennyiségű lúgos oldható frakciót tartalmaz (Simatupang és tsai. 1989). Ennek eredményeképpen a gyártás során felhasznált fafajok nagymértékben befolyásolják a cement hidratációját és így a gyártott termék szilárdságát is.

A fa-cement kompozitok végső szilárdságát valójában a cement és fa-komponensek közötti kölcsönhatás mértéke határozza meg, melyben legjelentősebb szerepe a vázszerkezet és a mátrix rész határfelületén létrejövő kapcsolatnak van (Takáts, 1998). E kapcsolat erőssége az alábbi módszerekkel javítható:

- A faanyag fizikai-kémiai előkezelésével, csökkentve ill. megakadályozva ezzel a „cementmérgek” hatását. Ez történhet az alapanyag három hónapnál hosszabb tárolása révén, minek következtében egyrészt csökken a magas nedvességtartalom, mely a kioldódó anyagtartalmat fokozza, másrészt a faanyag fafajtól függő hemicellulóz-, ill. gyantatartalma kikristályosodik, vízben nehezen oldódó amorf anyaggá alakul, vagy kémiai előkezeléssel.
- A fa-cement tényező (α) helyes megválasztásával. Ezt a paramétert a fafaj, a kitermelés ideje (őszi, téli döntés), a termőhelyi viszonyok, a vázszerkezet alakúsága, a fakémiai összetétel, illetve a cement kötőanyag fajtájának figyelembe vételével kell meghatározni.
- A különböző adalékanyagok ún. „hídképző anyagok”, kötésgyorsítók felhasználásával. A kötésgyorsítók lehetnek erős lúgok, vagy gyenge savak alkalikus sói. Leghatásosabb gyorsítóként a CaCl₂-t használják, mely katalizátorként meggyorsítja a C₃S és a β C₂S hidratációját. A CaCl₂ kötésgyorsító szerepe csak bizonyos mennyiségű adagolás mellett érvényesül. Ellenkező esetben lassítja a hidratációs folyamatot. Érdeemes megemlíteni emellett a nátron vízüveget is, mint kitűnő mineralizáló anyagot.

A cement hidratációjának folyamatát a faanyagon kívül egyéb tényezők is befolyásolják. Ezeket a **3. táblázatban** foglaltuk össze.

Összefoglalás

Cikkünkben áttekintettük a szervesen kötött kompozitokkal kapcsolatos legfontosabb tudnivalókat. Ismertettük a kötőanyagok legfontosabb fajtáit, valamint behatóbban foglalkoztunk a portlandcement tulajdonságaival és hidratációjával. Emellett röviden tárgyaltuk a faanyagok a cement hidratációjára kifejtett hatását is. Cikksorozatunk második, befejező részében ismertetjük az elvégzett kísérleteket és azok eredményeit.

E cikk az Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok (OTKA) T-043399 nyilvántartási számú pályázatának keretén belül készült.

Irodalomjegyzék

1. Alpár T. 2000. *Kötésgyorsítási módszerek a cementkötésű forgácslapok gyártásánál*. Doktori disszertáció, NyME, Sopron. 157 old.
2. Balázs Gy. 1984. *A cement szilárdulása*. Egyetemi jegyzet, Műszaki Egyetem, Budapest, 46 old.
3. Bejo, L., P. Takats, N. Vass. 2004. *Preliminary experience with cement bonded composite beams*. Publikáció alatt, Acta Silvatica et Lignaria Hungarica
4. Hachmi, M., A.G. Cambell 1989. *Wood – cement chemical relationships*. In: Proc. Fiber and Particleboards bonded with Inorganic Binders. FPRS, Madison, WI. 43-47. old.
5. Molnár S., Varga F.-né, Fehér S., Németh R. 2000. *A faanyag műszaki tulajdonságai*. In: Molnár S. szerk. Faipari kézikönyv I. Faipari Tudományos Alapítvány, Sopron. 59-88. old.
6. Simatupang, M.H., H. Lange, A. Kasim, N. Seddig. 1989. *Influence of Wood species on the setting of cement and gypsum*. In: Proc. Fiber and Particleboards bonded with Inorganic Binders. FPRS, Madison, WI. 33-42. old.
7. Takáts P. 1998. *Szervesen kötött fa- és rost kompozitok*. Egyetemi jegyzet, Soproni Egyetem. 109 old.
8. Takáts P. 1995a. *Heraklith lemezek optimális hidratációs hőmérsékletének meghatározása*. Kutatási jelentés, Sopron. 37 old.
9. Takáts P. 1995b. *Hidratációs hő vizsgálata és függése a Heraklith lemezek összetevőitől*. Kutatási jelentés, Sopron. 39 old.
10. Winkler A. 1995. *Faforgácslapok*. Dinasztia Kiadó, Budapest. 183 old.
11. Sandermann, W., A. Köhler 1964. *Kurze Eigungsprüfung von Hölzern für Zementgebundene Werkstoffe*. *Holzforschung* 18(12):53-59.
12. Lieber, W., W. Richartz 1972. *Einfluss von Triethanolamin, Zucker und Borsäure auf das Erstarren und Erhärten von Zement*. *Zement-Kalk-Gips* 9. 403-409. o.

Az akác (*Robinia pseudoacacia* L.) faanyag színének változása a gőzölési idő és hőmérséklet függvényében

Tolvaj László, Molnár Sándor, Takáts Péter, Varga Dénes *

Colour changes of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) as a function of steaming time and temperature

Black locust wood was steamed at a wide range of temperatures (75-130 °C). The effect of steaming times up to 22 days was examined. The colour change was found to depend mainly on the steaming temperature. For optimal colour modification, temperature should be constant throughout the steaming process. Many colour variations, ranging from greenish-yellow to chocolate brown, can be achieved by steaming when using the appropriate steaming time and temperature.

Key words: Black locust, Steaming, Colour change, Steaming parameters

Bevezetés

Az akác faanyag színe esztétikai szempontból jelentősen eltér a faanyagok többségétől. Hiányzik belőle a barnás árnyalat

mely a faanyag kellemes, meleg színárnyalatát adja. Helyette egy zöldessárga árnyalat dominál, és gyakoriak a reakciófára utaló sötétbarna vonulatok is, melyeket a gyakorlatban

* Dr. Tolvaj László CSc. egy. tanár, NyME Fizika Intézet, Dr. Molnár Sándor DSc. intézetig. egy. tanár, NyME Faanyagtudományi Intézet, Dr. Takáts Péter CSc. egy. docens, NyME Fa- és Papírtechnológiai Intézet, Varga Dénes PhD hallgató, NyME Fizika Intézet