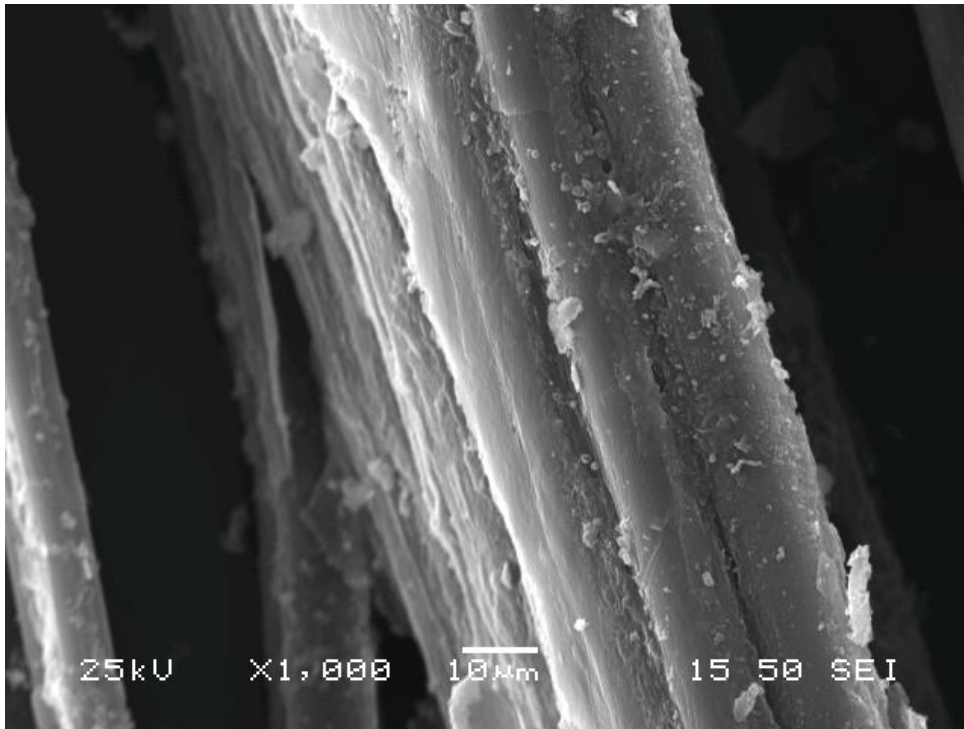


Kenderszálak tartóssága betonban

TDK Dolgozat

Kapcsos Ádám és Makrányi Ferenc III. éves építőmérnök hallgatók



Konzulens:

Dr. Kopecskó Katalin egyetemi docens

Építőanyagok és Mérnökgeológiai Tanszék

Budapest, 2012. november 14.

Kivonat

A természetes szálakkal (pl. kender) erősített beton esetében az elsődleges aggodalom a szálak tartóssága a cementkőben kialakuló alkáli környezetben. A növényi szálak tartósságát elsősorban az alkáli hatás, valamint a cement hidratációs termékek migrációja befolyásolja. A növényi szálak gyengülése a kompozit anyag szilárdságtani tulajdonságainak csökkenéséhez vezet. Kutatásunkban az alkáli környezetnek kitett kenderszálak húzószilárdság-vesztését vizsgáltuk kísérleti módszerekkel. A szálak ellenálló képességét különböző víztaszító anyagok alkalmazásával próbáltuk növelni. A tartóssági vizsgálatokat nem beágyazott kenderszál kötegeken végeztük el. Ahhoz, hogy a szálak hosszú távú viselkedését megvizsgálhassuk az alkáli környezetben, ún. gyorsított kísérleteket végeztünk magasabb hőmérsékleten különböző ideig történő kitettséggel. A vízfelvétel csökkentése és az alkáli ellenállóság növelése érdekében olyan, természetes eredetű felületkezelő szereket választottunk ki kísérleteinkhez, amelyek nem károsak a kompozitra nézve, nem mérgezőek, lehetőleg gazdaságosak és könnyen le tudnak bomlani. Ezek a vizsgált felületkezelők a következők voltak:

- lenolaj,
- lenolaj katalizátorral,
- paraffin,
- méhviasz.

Az alkáli környezetet a következő oldatok segítségével modelleztük:

- telített kalcium-hidroxid oldat (pH 12,3),
- Lawrence oldat (pH 12,9).

A felületvédő szerrel kezelt, valamint kezeletlen kenderszál kötegekből álló próbatesteket két független kísérletsorozatban 30 napig 55°C-on illetve 7 napig 40°C-on fokon tároltuk a különböző lúgos oldatokban. Összehasonlításképpen alkáli környezetnek ki nem tett (referencia) köteget is teszteltünk. A 30 napon át 55°C fokon tárolt, alkáli környezetnek kitett kenderszál kötegek teljesen elvesztették eredeti szerkezetüket, így ezeket a szálkötegeket nem tudtuk szakítási próbának alávetni. A húzószilárdsági vizsgálatokat csak a 7 napon át 40°C-on lúgos közegben tárolt próbatestek esetében lehetett elvégezni. A telített mészsóoldatban tárolt próbatestek húzószilárdság-vesztése sokkal szembetűnőbb volt, mint a Lawrence oldat esetében. A kiválasztott kezelőszerek közül a katalizátoros lenolaj és a méhviasz nyújtott nagyobb mértékű védelmet az alkáli környezetben végbemenő tönkremenetel ellen. A mésztejes közeg a szálak nagyobb mértékű tönkremenetelét is okozta.

Abstract

The primary concern in case of natural fibre reinforced mortar composites and concretes is the durability of the fibres in alkaline environment. The aforementioned durability of vegetable fibres is influenced mainly by the alkaline effect and the migration of the products of cement hydration. The loss of strength of vegetable fibres may result in the decrement of the mechanical properties of the composite material. In our research we examined the loss of tensile strength of hemp fibres subjected to alkaline environment by experiments. By the application of several water repellent substances we endeavoured to enhance the resistibility of the fibres. The tests of durability were carried out on non-embedded strands of hemp fibres. To model the long term behaviour of the fibres in alkaline environment a series of speeded up experiments were carried out on the specimens exposed to different increased temperature rates for different time intervals. In order to decrease natural water intake and increase alkaline resistivity such surface agents of natural origin were chosen to the experiments that are unharmed regarding the composite, not poisonous, affordable and can be decomposed easily. These examined surface agents were the followings:

- linseed oil
- linseed oil with catalyst
- paraffin
- beeswax

The alkaline environments were modelled by the following solutions:

- saturated Calcium Hydroxide solution (pH 12.3),
- Lawrence solution (pH 12.9).

The untreated strands of hemp fibres and the strands treated with surface agents were kept in two independent series of experiments in several alkaline solutions for 30 days at 55°C and for 7 days at 40°C respectively. As comparison, untreated strands unsubjected to alkaline solutions were also tested for reference. The specimens of strands of hemp fibres kept at 55°C for 30 days completely lost their structures and disintegrated therefore these specimens could not be tested for tensile strength. Tensile strength tests were only possible to carry out on specimens kept for 7 days at 40°C in alkaline solutions. The loss of strength of fibres immersed in saturated Calcium Hydroxide solution was significantly more visible than in case of the specimens immersed in Lawrence solution. Out of the surface agents chosen the linseed oil with catalyst and the beeswax provided the best all-around protection against disintegration in alkaline environment. In the environment created by the saturated Calcium Hydroxide solution a more intensive and extended destruction of the fibre structures was observable.

Tartalom

Kivonat.....	1
Abstract.....	2
Tartalom.....	3
A téma üdvözlése.....	4
1. Bevezetés.....	5
2. A kender	
2.1A kender, mint haszonnövény.....	7
2.2 Kender, a tiltott növény.....	9
3. Szálerősítés	
3.1 A Szálerősítés fogalma.....	11
3.2 Kender a betonban.....	12
4. Kísérletek	
4.1 Mérő és segédeszközök leírása.....	13
4.2 Kezelőanyagok leírása.....	17
4.3 Igénybevételek.....	20
4.4 A kísérlet menete.....	21
5. Eredmények és értékelésük.....	24
6. Összefoglalás, kitekintés.....	35
Köszönetnyilvánítás.....	36
Irodalomjegyzék.....	37

A téma üdvözlése

*„...Sziklaszilárd monolit tömb, bíz repedés szeli át,
az, ki erő, ami hajlít, tépi, cibálja hasát.
Vas bele! Majd a gerenda, nem leli már panaszát
és a földém, ami omlott, hirdeti ég magasát.*

*Vajh' de ha nincs az a sok vas, honnan az áthidalás?
Sok szomorú kicsi ház közt hol a család s a lakás?
Hol a fedél, ami óvhat, hol leli meg a falát,
Emberi, állati lénynek, ím bizonyost, ami ád?*

*Földanya bő tenyerével: Szerves a szál! S a „hibát”
áthidalá' az okosság: Műszaki lett a Világ!...”*

/Kapcsos Ádám: Technikó-óda a rosthöz (trimeter, részlet)/

1.Bevezetés

Az elmúlt évtizedekben figyelemre méltó erőfeszítések jellemezték a természetes növényi rostszálak, mint például a juta, a kókusz, a bambusz, az agavé, a szizál, a szalma vagy a kenderszálak, betonban és más cementkötésű mátrixokban történő alkalmazásának kutatását. A cél minden esetben egy olyan helyettesítő szálerősítés felfedezése volt, ami a kisköltségvetésű építkezéseknél, így a családi házak, esetleg kisebb méretű mezőgazdasági vagy ipari épületek esetében hatékony alternatívaként szolgálhat az azbesztkötésű cement termékek, más szálerősítések, vasbeton áthidalókkal szemben. A fókusz itt a húzószilárdság növelésén és az első látható repedés megjelenése utáni anyagi viselkedésen összpontosul.

Tekintettel arra, hogy a fejlődő országokban a betonnal együtt az acél felhasználása is rohamosan nő, a napjainkra teljességgel elfogadottá vált Fenntartható Fejlődés jegyében a helyettesítő anyag és technológia utáni kutatás több, mint érthető. A növényi rostszálerősítésnek óriási előnyei vannak a hagyományos (acél- és üvegszál), ill. korábban használatos (azbeszt) szálerősítéshez vagy a vasaláshoz képest. Növényi rostszálak széles körben és nagy mennyiségben fellelhetők, így olcsóak, biológiailag lebomlók vagy lebonthatók, újrahasznosíthatók, csiszoló, koptató hatást nem, vagy csak elhanyagolható mértékben fejtenek ki. Alkalmazásuk és tárolásuk közben egészségügyi kockázatot nem jelentenek, jóllehet bizonyos országokban évtizedekkel ezelőtt pontosan erre az egészségügyi kockázatra hivatkozva tiltották be a növényi szálerősítés alkalmazását vályogházak építésénél, az akár évszázados építési tradíciók ellenére. A természetes szálak alkalmazásával a széndioxid-kibocsátás is mérsékelhető.



I.ábra: Vályogtéglák

Napjainkban főleg az éghajlatilag erre legalkalmasabb régiókban, így a trópusokon található országoknál, illetve a megújulást szem előtt tartó és természetes anyagokat kedvelő, tehetősebb társadalmak esetében figyelhető meg a növényi szálerősítés újbóli elterjedése egyszerűbb, vagy magántulajdonban lévő építmények esetében, csakúgy, mint az ilyen irányú kutatások számának növekedése.

A fent említett trend magába foglalja a különböző szálerősítésű vályogfajták (I. ábra), a növényi szálerősítésű kompozit habarcsok (VFRMC, Vegetable Fibre- Reinforced Mortar

Composite), és a növényi szálerősítésű Portland cementkötésű mátrixok (OPC-based matrix) (II.a ábra) vizsgálatát, csakúgy, mint ugyanezen szálak viselkedésének elemzését betonban (II.b ábra) [1] [2] [3] [4].

Ez utóbbival foglalkozik a kutatásunk is, a kender rostszálait és a beton építőipari vezető szerepét alapul véve, a beton és az acél együttes felhasználásából származó környezeti terhelés (ökológiai lábnyom) csökkentését célul kitűzve.



II.a ábra: Cementkötésű kendentábla keresztmetszete (HPL:High Pressure Laminate) [4],
II.b ábra: Kenderbeton [4]

2. A kender

2.1 Kender, mint haszonnövény

A kender (*Cannabis sativa* L.) a Cannabinaceae családjába és a Cannibis nemzetségbe tartozik. A Cannibis nemzetség két fajból áll: a *Cannabis sativa* és *Cannibis indica*. A két faj közül hazánkban csak a *C. sativa* L. egyik alfajának, a termesztett kenderének van ipari jelentősége. Az indiai kender (*Cannabis indica*) termesztése általában világszerte tiltott.

A kendernek négy típusa, vagyis földrajzi-, ökológiai alakköre alakult ki: az északi kender, közép-orosz kender, déli vagy mediterrán kender és az ázsiai kender. A hazánkban termesztett tiszta fajták a déli kender alakköréhez tartoznak.

A kender értékes és fontos rostnövény, hazánk legfontosabb textilipari növénye. A rostkender az egyetlen olyan alapanyaga textiliparunknak, amelyet a szükségletnek megfelelő mennyiségben megtermelhetünk, ezért kutatásának indokoltsága sem lehet kérdéses.

A kendernek lényegesen durvább rostja van, mint a lennek, ezért felhasználása is sokoldalúbb. Finomabb rostjából vásznat, a durvábbból zsineget, kötelet, zsákot, ponyvát, tömlőt, sőt, újabban szálerősítéses kompozit anyagokat is készítenek belőle.

Hazánkban a rostkender termesztésnek történelmi hagyományai vannak. Hosszú ideig csak háziipari célból foglalkoztunk a kenderrel, és csak az utóbbi évtizedekben alakult ki a kender nagyüzemi termesztése és a kenderrost ipari feldolgozása. A rostkender ma már a nagyüzemi növénye, mivel termesztése teljesen gépesíthető, ami az egyéni és az ember szempontjából igen hasznos tulajdonságainak is köszönhető. Kendertermesztésünk alapján hazánk a jelentős kendertermelő és feldolgozó országok egyike Európában, amely tény predestinálja egy esetleges változatosabb felhasználás esetén is a kiemelt szerepre.

A kender egynyári, kétlaki növény. Újabban azonban a nemesítők egylaki kendert is előállítottak. A kendernek fejlett gyökérzete van, amely azonban a föld feletti részekhez viszonyítva kicsi, ezért tápanyagokban gazdag talajt kíván. A szára lágy szár, amely a vegetáció végére - különösen tág térállásban - erősen elfásodik. Szára fás szövetből és hánccsövetből áll. A hánccsszövet hánccsrostokat tartalmaz. A szár magassága (1-4 m) igen sok tényezőtől függ. A fontosabb tényezők a következők: földrajzi alakkör, a fajta, az ivar és az állománysűrűség. A szár vastagsága és elágazási hajlama is hasonló tényezőktől függ, főleg az ivar és a tenyészterület határozza meg.

Hazánk időjárása mindenütt megfelel a kender termesztésére, de az ország déli része - főként a Dél-Alföld - melegebb éghajlata a legalkalmasabb. A kender a talaj, főleg az altalaj minősége iránt igényes növény, ezért fő termesztési körzeteit a talaj minősége határozza meg. Talajigény vonatkozásában különbség van a rostkender és a magkender között. A rostkender termesztésére legalkalmasabbak a tápanyagokban gazdag, mélyrétegű mezőszőlő talajok, folyami öntéstalajok, valamint a nem túlságosan kötött réti agyagtalajok. Termeszthető a rostkender láptalajokon is, de itt a rost minősége - főleg a szakítószilárdsága - erősen kifogásolható. A magkender termesztésére főleg a láptalajok és a hordalék öntéstalajok alkalmasak.

A kender tápanyagigényes növény, nagy termések eléréséhez sok és felvehető állapotban lévő tápanyagot kíván. A tápanyagok közül nagyon fontos a nitrogén. A kender legnagyobb nitrogénigénye fejlődése kezdetén van. A nagy termések biztosításában, valamint a rostok minőségi kialakításában nagy jelentősége van a foszfornak és a káliumnak is. A kálium főleg a rostok mennyiségére és minőségére gyakorolt hatásában jelentős (III. ábra, [5]). A makrotápelemeken kívül nagy jelentőségük van a mikroelemeknek is (B, Mn, Cu) [6].



III. ábra: Kender
rostszálak [5]

Kivételes tulajdonságai miatt a kender egyike az emberiség által egyik legrégebben nagy mennyiségben felhasznált haszonnövényeknek. A kezdetektől fogva nem táplálkozási céllal, hanem rostjáért termesztették. A kőkori hálós halászat maradványai alapján megállapítható, hogy a fonalkészítés az egyik legrégebben űzött, máig fennmaradt foglalkozás, aminek az alapanyagát már akkor is a kender rostszála alkotta. A kínaiak már i. e. 2800 évvel is jól ismerték, szöveteket és köteleket készítettek belőle, a japánok és mongolok már a pamut megismerése előtt felhasználták. Dél-Európában Hérodotosz idejében (az i. e. 5. században) ismerték meg. Észak-Európába a szkíták hozták be i. e. 700 körül.

Hazánk területén közel 9000 éve termesztik a kendert. A magyarok is már a honfoglalás előtt ismerték a növényt és feldolgozásának módját. Ezt bizonyítja a kender, csepű, szösz szavaink török eredete, amely török eredet nem a középkori török megszállásra utal, hanem sokkal inkább a sztyeppeidők bolgár-török szomszédságára, jóval a Honfoglalás előtti időkre.

2.2 Kender, a tiltott növény

Az indiai kender (*Cannabis indica*) szárított, megtermékenyítetlen (termős) kendervirágzatát hívják *marihuánának* (IV.a ábra).

A leginkább elterjedt fogyasztási módja a cigarettaként, a jobb éghetőség kedvéért gyakran dohánnyal keverve. Gyakorinak mondható még a „bong” és a vízpipa is. Ezek előnye, hogy a benne lévő víz minimálisan megszűri a füstben lévő káros anyagokat (ez függ a víz telítettségétől, az égetett anyag kátránytartalmától, és a bong szerkezeti tulajdonságaitól is) és le is hűti füstöt, így csökkentve a használó tüdejére nehezedő terhet. A bongnál hatékonyabbnak mondható a „vaporizer”. Lényege, hogy a kendert csak 185-210°C fokra hevíti, így az aktív hatóanyagok el tudnak párologni, a káros anyagokat tartalmazó növényi részek viszont nem égnek meg.

A virágzaton és a kísérőleveleken (IV b. ábra) nagy számban található mirigyek által termelt gyantát – (például szitálással) elválasztva a többi növényi résztől – „*kief*”-nek vagy néha „*pollem*”-nek nevezik. Ez nem összetévesztendő a porzós virágok virágporával (*pollen*). A virágpor egyáltalán nem tartalmaz aktív hatóanyagokat (THC-t, tetrahydro-kannabinol alkaloidot), a *kief* viszont az egyik legkoncentráltabb kivonás nélkül készíthető készítmény a hasis után, tekintve, hogy a kannabinoidok főleg a kender gyantájában vannak jelen. A kender gyantája összegyűjtve, préselve nevezhető hasisnak, színe az zöldtől az aranybarnán keresztül a majdnem feketéig változhat, tisztaságától és az előállítás módszerétől függően.



IV.a ábra: A marihuána [7].



IV.b ábra: A Cannabis virágai [7].

Előállításának egyik hagyományos módja a szitálás és préselés. A szárított növényi törmeléket egy sűrű szövésű szöveten átszitálva, a szövet sűrűségétől függően különböző minőségű hasis állítható elő [7].

A kendertermesztés törvényi háttere ellentmondásos. Bizonyos országokban még az indiai kender származékainak használata is elfogadott, míg máshol halállal büntetik. Az EU területén korábban még az ipari kender termesztése sem volt mindenhol engedélyezve, azonban mára az EU államaiban szinte mindenhol termesztik és felhasználják ipari célokra a kendert. Az utolsó tiltást Németországban oldották fel 1997-ben [8].

3 Szálerősítés

3.1 A szálerősítés fogalma

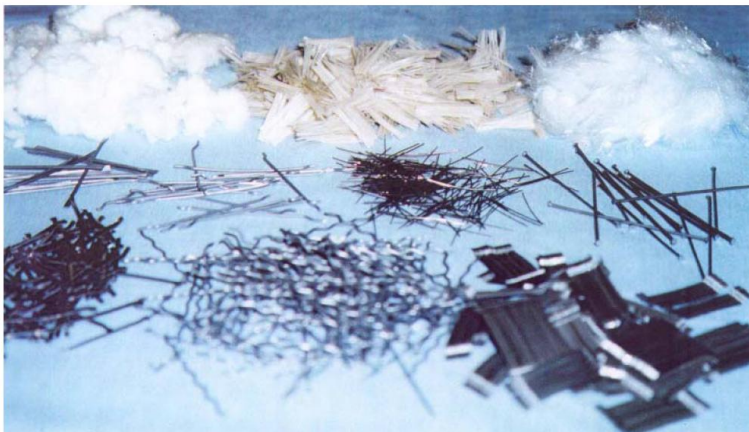
A szálerősítés ötlete már 4000 évvel ezelőtt az egyiptomiaknál is megjelent, akik többségében állati szőröket és növényi rostokat keverték vályogtéglák alapanyagába szálerősítés gyanánt. A Középkorban a szalmaszárból nyert ún. törek és pelyva részek képezték a szálerősítést ugyancsak a vályogtéglákban.

Az acélszálak alkalmazását a betonban Romualdi és Batson, valamint Romualdi és Mandel kísérletei alapozták meg a 60-as évek elején, ezek után kezdtek el alkalmazni más típusú szálakat is [9], [10].

Napjainkban a betonok szálerősítése nem hagyományos vasalással egyre nagyobb teret hódít, részben kedvező tulajdonságainak köszönhetően, részben gazdaságossági megfontolásokból (V. ábra).

A szálerősítést a betonban a beton húzó- és nyomószilárdsági értékének növelésére is alkalmazhatunk, mivel a korábbi kutatások arra engednek következtetni a szál nélküli és a szálerősítésű betonok nyomószilárdsági vizsgálati eredményeinek összehasonlításából, hogy a szálmennyiség növelésével nő a törési összenyomódás és az anyag energia elnyelő képessége (szívóssága).

Szálakkal a vasbeton szerkezetek tartóssága is növelhető, mivel nagy szerepük van a repedések kialakulásának megelőzésében. A repedéseken keresztül juthatnak be a környezetből a káros anyagok a vasbeton szerkezetbe, amelyek tartóssági problémákhoz, végezetül az élettartam csökkenéséhez vezethetnek. Így a szálak bizonyos típusait a repedések megelőzése, repedések mértékének csökkentése érdekében keverjük a betonba, ideális esetben rendezett száliránnyal, általános esetben szórva, rendezetlenül [11].



V. ábra: Különböző, betonban felhasználható száltípusok [11]

3.2 Kender a betonban

Egy kimutatás szerint az Amerikai Egyesült Államokban az építkezések anyag és vele járó energia felhasználása adja az összes CO₂ kibocsátás 38%-át. Nem meglepő módon a karbon-neutrális projektek, a zéró ökológiai lábnyom és a fenntarthatóság irányába egyre nagyobb az érdeklődés. Az alternatív építőanyagok ennek a trendnek mindig is az élén foglaltak helyet, ezen belül is a beton, mint a legszélesebb körben alkalmazott anyagunk.

Erre a problémára próbált megoldást találni tudósok egy csoportja és napjainkra létrehoztak egy új anyagot, az Egyesült Királyságban, a Lhoist csoport által kifejlesztett Hemcrete-et vagyis kenderbetont.

Ez az anyag nem csak karbon neutrális (előállításához, gyártásához szén nem szükséges), de valójában karbon negatív, mivel a kenderszálakban termesztése több széndioxidot köt meg, mint amennyi a kötőanyagként használatos kalcium-hidroxid gyártása során felszabadul. A kenderbeton biokompozit gyártása során a szálakat mésszel és vízzel keverik össze.

További előnyei, hogy esztétikus, környezetbarát és 100%-ban újrahasznosítható, mivel egy bontás után a kenderőrleményt akár talajerő gazdálkodásra is felhasználhatják, így alkalmazásának sora szinte végtelen. Építhetünk falat, teherhordó szerkezeteket téglájából (VI. ábra), használhatjuk burkolatnak, tetőszigetelésnek (VII. ábra). Vízálló, tűzálló és jó szigetelő, valamint talajszint fölött beépítve nem rothad.

Az Egyesült Királyságban és Észak-Amerikában évek óta működik és forgalmaz a Hemcrete® vállalat, saját, speciális, a végterméknek leginkább megfelelő típusú ipari kenderet termesztő ültetvényekkel [12].



VI. ábra: Hemcrete
(kenderbeton) téglá [12]



VII. ábra: kenderbeton
tetőszigetelés [12]

4 Kísérletek

4.1 Mérő- és segédeszközök leírása

Analitikai mérleg:

A tömegmérés a laboratóriumi munka egyik legalapvetőbb mozzanata. Ehhez a munkához hasznos segítőtárs az analitikai mérleg. A tömegmérés számos gyakorlat során előfordul kezdő, illetve befejező műveletként. A mi esetünkben a képen látható eszközt használtuk a kender száraz és nedves tömegének mérésére (VIII. ábra).



VIII. ábra: A mérésnél használt 10^{-4} gramm pontosságú analitikai mérleg két nézetből

Piknométer:

A piknométer lombikhoz hasonló, hasas, szűk nyakú üvegedény. A nyílása csiszolatos kapillárisal zárható, amelyen egy körbefutó, csiszolt jel a folyadékszint pontos beállíthatóságát biztosítja.

A piknométert pontos sűrűség meghatározásra használják, olyan esetekben, amikor az areométerrel nem határozható meg, vagy teljesen pontos érték szükséges. A piknométert először száraz állapotban megméri analitikai mérlegen, majd megtöltik desztillált vízzel és elvégzik az oldalsóvön keresztül a jelre állítást. Található a piknométerben egy hőmérő, melynek segítségével ellenőrzik a víz pontos hőmérsékletét és táblázatból kiolvassák a víz pontos sűrűségét. Ezután a desztillált vízzel megtöltött piknométert is leméri analitikai mérlegen. Ezen adatok ismeretében kiszámítható a piknométer pontos térfogata.



IX. ábra: Piknométer [13]

Ezt követően az ismeretlen sűrűségű oldattal töltik meg a piknométert, majd a fent említett jelre állítást és tömegmérést szintén elvégzik. Az oldat sűrűsége a mért tömeg és a piknométer számított térfogatának hányadosaként kapható meg. A képen látható piknométerrel azonos eszközt használtunk mi is (IX. ábra) [13].

Szárítószekrény:

A szárítószekrények jelentős szerepet töltenek be a laborokban, működésük azonban igen egyszerű elven nyugszik. A szárítószekrényben található levegő relatív nedvességtartalmát 5% alá csökkenti, így a gőz nyomáskülönbség olyan nagy lesz, hogy a szárítani kívánt anyag vízmolekuláit az adhéziós erőnek köszönhetően felveszi a szárítószekrényben található levegő. Így az anyag száraz lesz.

A Nüve KD 200 típusú szárítószekrényt (X. ábra) többek között pontos hőtartási képessége miatt a kísérlet felgyorsításához, a már oldatokba merített kenderszál kötegeknél a több év eltelt idő szimulálásának érdekében használtuk.



X. ábra: A kísérlethez használt
szárítószekrény

Elektronmikroszkópos vizsgálat:

A pásztázó elektronmikroszkóp (PEM; angolul Scanning Electron Microscope, SEM) olyan elektronoptikai eszköz, amely a vizsgált tárgy felszínének meghatározott területét irányított, vékony elektronnyalábbal végigpásztázza. Az elektronsugár és a tárgy kölcsönhatásából származó jeleket erre alkalmas detektorokkal érzékeli, és ezeket feldolgozva, az elektronsugár mozgásával szinkronizálva képileg kijelzi. Mivel az elektronsugár és a tárgy kölcsönhatásaként számos, az anyag adott felületére jellemző típusú jel keletkezik, lehetővé válik a minta különböző tulajdonságainak képszerű megjelenítése, vagy a vizsgált anyag tulajdonságainak, a vizsgálati terület helyének – képileg is azonosítható – meghatározása. Ilyen módon a vizsgált anyag alaki (morfológiai) sajátosságain túlmenően, a készülék felszereltségétől függően számos más tulajdonságot is lehet vizsgálni (például a kémiai összetételt). Mindezek ellenére a pásztázó elektronmikroszkóp legáltalánosabban használt sajátossága az, hogy a vizsgált anyagok felszínének alaki tulajdonságairól nagy felbontású és nagyítású, ugyanakkor nagy mélységélességű képet tud alkotni [14].

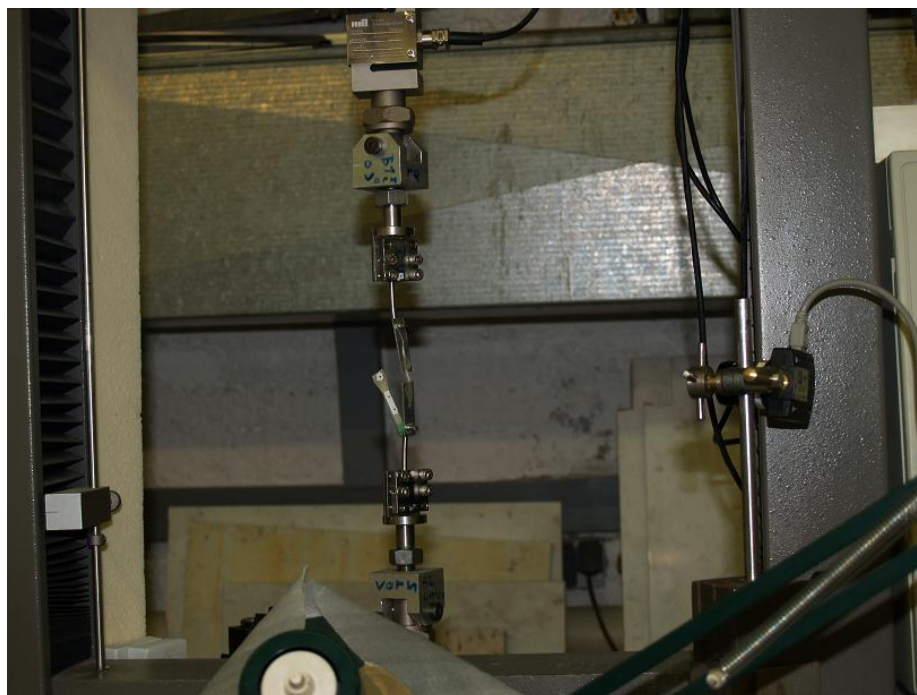
Kísérletünknel a BME Szervetlen és Analitikai kémia Tanszékének CH-épületi alagsorában található pásztázó elektronmikroszkópot használtuk (XI. ábra), a mintaelőkészítéshez használt kontrasztanyag pedig arany volt.

Szakítószilárdság vizsgálat:

A szálkötegek vizsgálata (szakítóerők meghatározása) az MCE 3000ST szakító géppel (Load Transducer Type U4000 Range 1000kg) történt Bécsi Műszaki Egyetem (Technische Universität Wien) Magasépítés és Technológia Intézetében (Institut für Hochbau und Technologie) (XII. ábra).



XI. ábra: Pásztázó Elektronmikroszkóp (SEM) a képen látható berendezéshez hasonlóval készítettünk képeket a CH épületben [14]



XII. ábra: Szakító gép

4.2 Kezelőanyagok leírása

Paraffin viasz:

A paraffin viasz (vagy köznapi nevén *paraffin*) tiszta formában fehér, szagtalan, viaszos tapintású, szilárd anyagot alkot (XIII. ábra) [15]. Olvadáspontja a benne található molekulák átlagos hosszától függően 47-64 °C, sűrűsége 0,9 g/cm³. Vízben nem oldékony, de szerves oldószerekben (éterben, benzolban, és néhány észterben) könnyen oldható. A legtöbb kémiai vegyülettel nem lép reakcióba, viszont könnyen éghető anyag.



XIII. ábra:
Paraffin viasz
alvadása
kézfejen [15]

A tiszta paraffin kiváló elektromos szigetelő anyag. Fajlagos ellenállása 10^{13} - 10^{17} ohm-méter. Ez szinte minden ismert anyagnál jobb, kizárólag néhány műanyag esetén tapasztalható ennél magasabb érték. Ezen anyagok, például a teflon (PTFE), valamint a polietilén-tereftalát (PET). Egy másik lényeges tulajdonsága, hogy kiváló neutron-moderátor. 1932-ben James Chadwick is paraffint használt kísérletei során, amikor azonosította a neutront [16].

A paraffin viasz nagyon jó hőtároló képességekkel rendelkezik: fajlagos hőkapacitása 2,14-2,9 Jg⁻¹K⁻¹, olvadáshője pedig 200-220 Jg⁻¹. Ezen tulajdonságai miatt néhány speciális esetben gipszkartonok öntése során a gipszhez adagolják. A gipszben lévő paraffin a beépítést követően a nappali időszakban hőt vesz fel, majd éjszaka visszasugározza azt. A viasz olvadáskor nagymértékben kitágul, ezért termosztátokban is alkalmazzák [17].

A tiszta paraffin szobrok modelljének elkészítéséhez nem megfelelő anyag, mert szobahőmérsékleten meglehetősen kemény, és könnyen törik. Modellek elkészítésére ezért

inkább méhviaszt alkalmaznak, de néhány esetben paraffint is adagolnak a megmunkálандó viasztömbhöz, megváltoztatva ezzel pl. az olvadáspontját.

Méhviasz:

A méhviaszt a méhek a lépek építésénél használják, melyet saját váladékaikból állítanak elő. Ez a viaszanyag nagyon rugalmas és tökéletes vízlepergető hatással rendelkezik. Ennek köszönhetően jól alkalmazható természetes építő- és dekorációs anyagok (fa, parafa, máz nélküli kerámia stb.) nedvesség és szennyeződés elleni védelmére (XIV. ábra) [18].

A méhviasz számos anyagból álló viaszféle. A fő összetevők: palmitilsav, palmitoleát, hidroxipalmitát, valamint alkoholok oleinsavval alkotott észterei (hosszú, 30-32 szénatomos molekulák) és egyéb palmitátok.

XIV. ábra:
Méhviasz tömb
formájában [18]



Olvadáspontja 62-64 °C. 85 °C-nál magasabbra hevítve színét megváltoztatja. Lobbanáspontja 204,4 °C. Nincs ismert öngyulladó hőfoka. Sűrűsége 15 °C-on 0,958-0,970 g/cm³.

A méhviasznak 2 fő fajtáját lehet megkülönböztetni: európai és „orientál” (ázsiai) változata létezik. A kettő közötti különbséget a különböző ún. „szappanizációs” értékek adják. Az európai fajtánál ez az érték 3-5, míg az orientál típusnál 8-9 [18].

Lenolaj:

A len magjából hidegen kisajtolt növényi olaj. A lenolaj élettanilag is nagyon értékes telítetlen zsírsav. 4,5-23%-ban tartalmaz cisz-linolsavat és 25,8-58%-ban linolénsavat. A linolsav (lenolajsav) jelentősége a sejtlégzés és energiatermelés szempontjából felbecsülhetetlen (XV. ábra).

A kísérletünk szempontjából a lenolaj felületkezelő és állagmegóvó hatása miatt került előtérbe. A telítetlen zsírsavaknak köszönhetően a lenolaj polimerizálódik (megköt) a felületeken, egy festékréteg viselkedéséhez hasonlóan. Választásunk ezért is esett többek között erre az anyagra. Kettő fajtáját használtuk, egy hagyományos, hozzáadott plusz hatóanyagot nem tartalmazó változatot és egy polimerizálódást elősegítő katalizátor-anyagot tartalmazó változatot [19], [20].



XV. ábra: A képen ábrázolttal
megegyező márkájú lenolaj
került alkalmazásra a
kísérletek során [20]

4.3 Igénybevételek

A szálerősítés feladata nem csupán a kvázistatikus és dinamikus terhek felvétele, hanem az azt magába foglaló mátrix integrációjának fenntartása is. A beton készítéséhez felhasznált cementpép, valamint a megszilárdult cementkő kémhatása erősen lúgos, pH értéke többnyire 12-nél is több. Ebben az alkáli környezetben kell tartósan helytállniuk a szálaknak. Az acélszálak az alkáli környezetben kialakuló passzív felületi védőréteggel még inkább ellenállókká válnak, míg más típusú szálak, pl. az E-üveg szálak, vagy akár növényi eredetű rostok hosszú távon nem állnak ellen az agresszív kémiai hatásnak, átalakulnak, elbomlanak, feloldódnak, elvesztve közben szálerősítő hatásukat. A szálak ellenálló képességét, tartósságát, a tartósság fokozásának lehetséges módjait szeretnénk volna megismerni. Ennek vizsgálatához a kezelt, illetve kezeletlen szálakat kétféle agresszív oldatokba merítettük, szimulálандó a beton belsejében uralkodó körülményeket. Ezek az alábbiak voltak.

Telített kalcium-hidroxid oldat [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] (mésztej, mészvíz) (pH 12,3)

Szükségünk volt egy betonhoz igen hasonlatos pH-jú, de nem szilárd fázisú anyagra a szimulációkhoz. Tudjuk, hogy a cementhidratáció során $\text{Ca}(\text{OH})_2$ szabadul fel. A kalcium-hidroxid vízben rosszul oldódik, oldhatósága a hőmérséklettel fordítottan arányos, így a vízzel való összekeverés után nem tiszta, átlátszó oldatot kapunk, hanem egy fehér színű, zavaros, oldhatatlan kristályokat tartalmazó keveréket, ún. szuszpenziót. Ez a mésztej. Ülepedés után a mésztej tetején összegyűlik a mészvíz, ami a kalcium-hidroxid híg vizes oldata. Ezt az oldatot felhasználtuk fel a kísérletünkhöz.

Lawrence oldat (pH 12,9)

A Lawrence oldat egy igen agresszív kémiai anyag, ami ideális extrém igénybevételek modellezésére. Alkalmazásának magyarázata, hogy a betonból nagy nyomáson kipréselt pórusoldat elemzéséből jutottak az alábbi összetételhez. A magas pH érték (pH 12,9) szintén a cementklinkerek hidratációja során felszabaduló alkálifém-hidroxidok jelenlétének köszönhető [21]. A Lawrence oldat összetétele a következő:

0.48 g/l $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + 3.45 g/l KOH + 0.88 g/l NaOH, pH=12,9.

A betonban uralkodó kémiai környezet szimulációjához választottuk ezt az oldatot is.

4.4 A kísérlet menete

Hidrotechnikai jellemzők és halmazsűrűség meghatározása

Kísérleteink során az éghajlatunkra, a nedves kontinentális éghajlatra jellemző kenderrel dolgoztunk. A hosszú, értékesebb rostszálakat használtuk fel kísérleteinkhez.

Első feladatunk a vizsgált anyag halmazsűrűségének meghatározása volt. A vizsgálathoz piknométeres eljárást alkalmaztunk, vagyis meghatározott hőmérsékletű (kísérletünk során 17 °C) folyadék segítségével, ami nem lépett reakcióba a vizsgált szálakkal (esetünkben ez desztillált víz volt) és egy halmazvizsgáló üveggel. A folyadék kiszorítás elvének alkalmazásával állapítottuk meg a halmazsűrűséget. Ehhez az alábbi képletet használtuk:

$$\rho = \frac{m}{\frac{Mv}{\rho_{\text{víz}}} - \frac{Mv}{\rho_{\text{víz}}}} = \frac{m_2 - m_1}{\frac{m_4 - m_1}{\rho_{\text{víz}}} - \frac{m_3 - m_2}{\rho_{\text{víz}}}}$$

Mivel nem tudtuk pontosan az egyes szálak víztartalmát, avagy nedvességtartalmát, ezért ezt ki kellett számolni a következő lépésben. A víztartalom építőanyagtan szerint az anyag hidrotechnikai állapotjelzője. Egy adott időpillanatban valamely anyag víztartalma tömeg%-ban kifejezve, az anyag pórusaiban lévő víz tömege és a kiszorított anyag tömegének hányadosának százszorosa:

$$W_{(m/m\%)} = \frac{M_{\text{víz}}}{M} * 100$$

A továbbiakban elvégeztük az ún. vízfelvétel vizsgálatot is, hogy az anyagra jellemző legnagyobb lehetséges víztartalomról is képet kapjunk. A vizsgálatához az anyagot vízzel kellett telíteni, meghatározás szerint légköri nyomáson és fokozatos telítéssel. Ezt követően a vízzel telített szálak víztartalmát kellett meghatározni, ami nem más, mint az anyag vízfelvétele.

A mérések és számítások elvégzéséhez, előbb a készhez kapott rendezetlen kenderanyagot, egy 500 cm³-es mérőhengerben 1 napig 105 °C-on egy szárítókemencében kiszárítottuk. A kiszárított mintát lemértük, a lemért adatokat rögzítettük. Ezután beáztattuk vízbe, majd megint mértünk és ismét kiszárítottuk ugyanazt a mintamennyiséget.

A víztartalmat a kiszárított szálak tömegére viszonyítva fejezzük ki az alábbi képlettel:

$$W_{\text{max}} = \frac{m_2 - m_1}{m_1} * 100$$

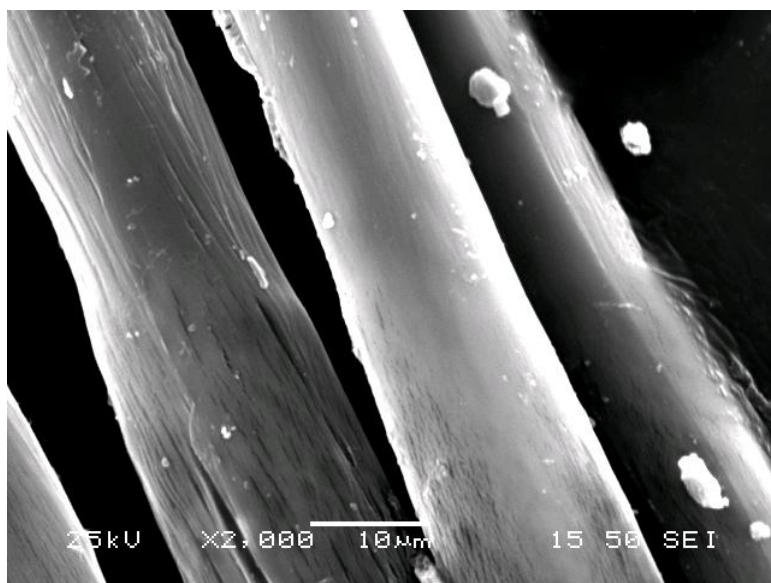
Az eddig leírt munkafolyamatok mérési eredményei az 1. táblázatban találhatók.

1. táblázat A kenderszálak és a halmazsűrűség meghatározásához mért értékek

Megnevezés	Számérték	Mértékegység
Természetes nedvességtartalom Ma+v	27,0753	[g]
Természetes nedvességtartalom Ma	24,4922	[g]
Víztartalom	9,54	[%]
Halmazsűrűség vizsgálat m4= piknométer a jelig vízzel töltött tömege	870,55	[g]
Halmazsűrűség vizsgálat m3= piknométer a víz és a kender együttes tömege	877,73	[g]
Halmazsűrűség vizsgálat m2= piknométer és a kender együttes tömege	452,52	[g]
Halmazsűrűség vizsgálat a piknométer üres tömege	243,70	[g]
$\rho_{\text{víz}}$	0,9998	[kg/dm ³]
ρ_{kender}	1,0354	[kg/dm ³]
pórusvíz tömeg% $W_{(m/m\%)}$	10,55	[%]
Vízfelvétel vizsgálat, a kender száraz tömege	57,62	[g]
Vízfelvétel vizsgálat, a kender nedves tömege	211,43	[g]
W_{max}	266,94	[%]

Szálkötegek (próbatestek) előkészítése a tartóssági vizsgálatokhoz

Ezek után célunk a szálkötegek (próbatestek) előkészítése volt a tartóssági vizsgálatokhoz. Itt felmerült annak a kérdése, hogy mit nevezünk egyedi kender szálnak, amivel kapcsolatban tapasztaltuk a következő nehézséget: a kézi szétválogatásnál azt vettük észre, hogy a szálak az emberi észlelés képességein belül korlátlanul bonthatók, minden elért „legvékonyabb” szál, újabb, még az előzőnél is vékonyabb szálakra volt bontható, egészen a mikroszkopikus méretekig (XVI. ábra).



XVI. ábra: A kenderszál „egy szál” problémája.
Egy „szálban” több egyedi, 20 μm-nél is vékonyabb szál különíthető el

Úgy határoztunk, hogy kézi szétválogatással létrehozunk az emberi szem számára még jól érzékelhető vastagságú kenderszálakból húszas kötegeket, a végüknél összekötött, átlag 30 cm-nél hosszabb kötegeket alkotva. Ezeket a kötegeket tekintettük innentől egy próbatestnek.

A próbatesteket a tesztek előtt védve, alufóliába csavarva tároltuk, óvva a külső hatásoktól, a hibás mérések elkerülése végett.

Szálkötegek felületkezelése a tartóssági vizsgálatokhoz

A továbbiakban a próbatesteket különböző kezeléseknél vetettük alá. Kezelő anyagok voltak a méhviasz, a hagyományos és a polimerizálódást gyorsító katalizátorral ellátott lenolajtípusok illetve a paraffin viasz. ezek a kezelő szerek könnyen hozzáférhetők, általában természetes eredetűek, így a környezetet nem terhelik, ezen kívül gazdaságosak. Ezeket a felületkezelő, illetve impregnáló anyagokat minden esetben bemerítéssel alkalmaztuk, a méhviaszt és a paraffint egy dupla falú forralóedényben, vízben felolvasztva, a lenolajat egyszerű tárolóedénybe kiöntve, mivel folyékony, szobahőmérsékleten. A bemerítési idő a lenolajtípusok esetén 10 perc áztatásához volt.

A tapasztalat azt mutatja, hogy a hőmérséklet csökkenésével ridegebbé váló kezelőanyagok, így a paraffin és a viasz, már a bemerítés végeztével repedéseket mutattak a szálköteg különböző pontjainál. Ez a felületkezelő szer hatékonyságát is befolyásolhatja.

Ennél a munkafázisnál gondoskodtunk kezeletlen kontrol szálkötegekről is, amely kötegek semmilyen kezelést nem kaptak és a későbbiekben referenciaként szolgáltak.

Tartóssági vizsgálatok – gyorsított öregítési kísérletek

A felületkezelt szálak minden fajtájából kettő-kettő próbatestet (szálköteget) az agresszív, alkáli környezetet szimuláló oldatokba merítettük bele. Ezek a mésztej, $(\text{Ca}(\text{OH})_2)$ és a Lawrence oldat voltak, Ezen kívül egyszerű csapvízbe (H_2O) is helyeztünk próbatesteket, amelyek az oldatok szintjén képviselték a kontrol próbatesteket.

Tekintettel a majdani élettartami követelményekre, a kísérleteket szárítószekrényben gyorsítottuk fel 55°C , illetve 40°C -os állandó hőmérsékleten tartással.

Az intenzívebb, 55°C -os hőhatásnak kitett próbatestek az egyes oldatokba merítve 30 napot töltöttek el, míg a 40°C -os állandó hőmérsékletnek kitett, bemerített próbatestek 7 napig voltak a szárítószekrényben. Az első tartóssági kísérlettel közelítőleg 15-20 év valódi időtartamot, míg a második kísérlettel közelítőleg 2-5 évet szimuláltunk, ami természetesen sokkal intenzívebb tönkremenetelhez vezetett az oldatokkal történő közvetlen érintkezés miatt, mint amilyen betonban érhetne volna a szálakat [22], [23].

5. Eredmények és értékelésük

Az intenzívebb, 55°C-os hőhatásnak kitett próbatestek az egyes oldatokba merítve 30 napot töltöttek el, míg a 40 °C-os állandó hőmérsékletnek kitett, bemerített próbatestek 7 napig voltak az oldatokban a szárítószekrényben.

Eredmény szempontjából az intenzívebb, 55 °C-os, egyhónapos (30 napos) kísérlet majdnem értékelhetetlen volt, az egyes próbatestek szálszerkezete olyan mértékű sérülést szenvedett, hogy nem csupán a köteg szerkezet vált felismerhetetlenné, de az egyes szálak további húzó igénybevétel vizsgálata is. Viszont ezeknek a szálaknak a morfológiai változása következtetéseket enged levonni mind a felületkezelő szerek hatásosságáról, mind az oldatok által nyújtott agresszív környezet okozta tönkremenetelről.

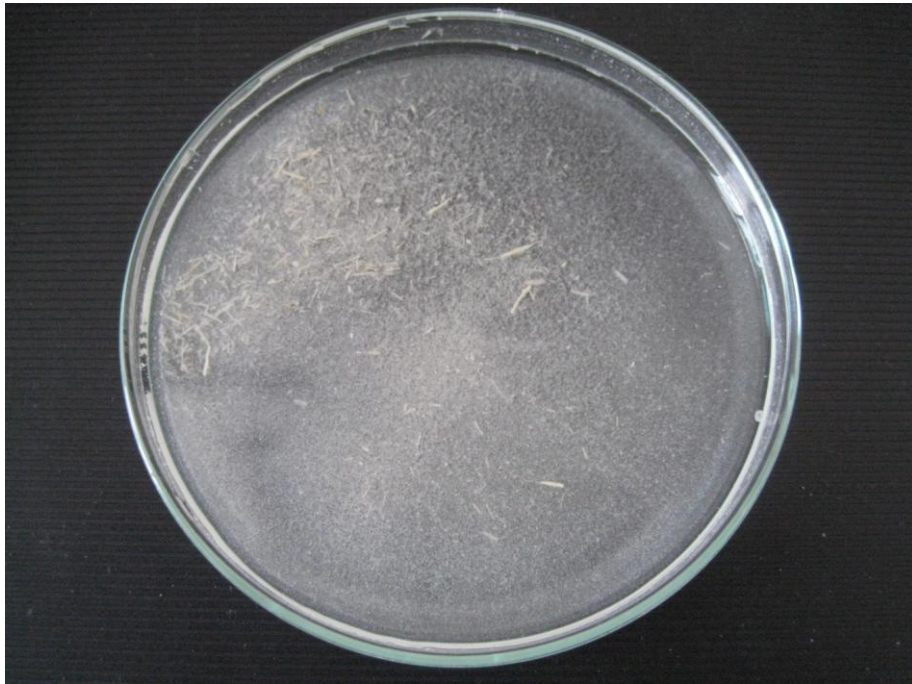
Tartóssági vizsgálatok eredménye – 55 °C-os, 30 napos kísérlet

A XVII-XX. ábrákon az 55 °C-os, 30 napos kísérletet követően készített fotókon mutatjuk be a szálkötegek és esetenként a felületkezelő szerek tönkremenetelét. Érdekes módon a $\text{Ca}(\text{OH})_2$ oldat minden esetben nagyobb mértékben tette tönkre a szálakat, mert a Ca^{2+} ionok bediffundáltak a szálak szerkezetébe, majd ott ioncserével a szálak mineralizációját okozták, amely következtésképpen a szálak ridegebbé, törékenyebbé válásukhoz vezetett [1], [3].

Teszt sorszáma	kezelés	tárolás
1	LO	MV
2	LO	LS
3	LO+	MV
4	LO+	LS
5	P	MV
6	P	LS
7	MV	MV
8	MV	LS
Kontroll próba:		
0	nincs	száraz
I	nincs	víz
II	nincs	mésztej
III	nincs	Lawrence oldat

Jelmagyarázat:

- kezelés: LO lenolaj, LO+ lenolaj katalizátorral, P paraffin viasz, MV méhviasz,
- tárolás: MV mészvíz, LS Lawrence oldat.



XVII: Lenolaj kezelés + tárolás mészvízben (porló, feloldódott)



XVIII. ábra: Lenolaj kezelés + tárolás Lawrence oldatban (szakad, oldódik, de a szálak még egyben)



XIX. ábra: Paraffin kezelés + tárolás mészvízben (szálak nagyrészt feloldódtak, de a paraffin is)

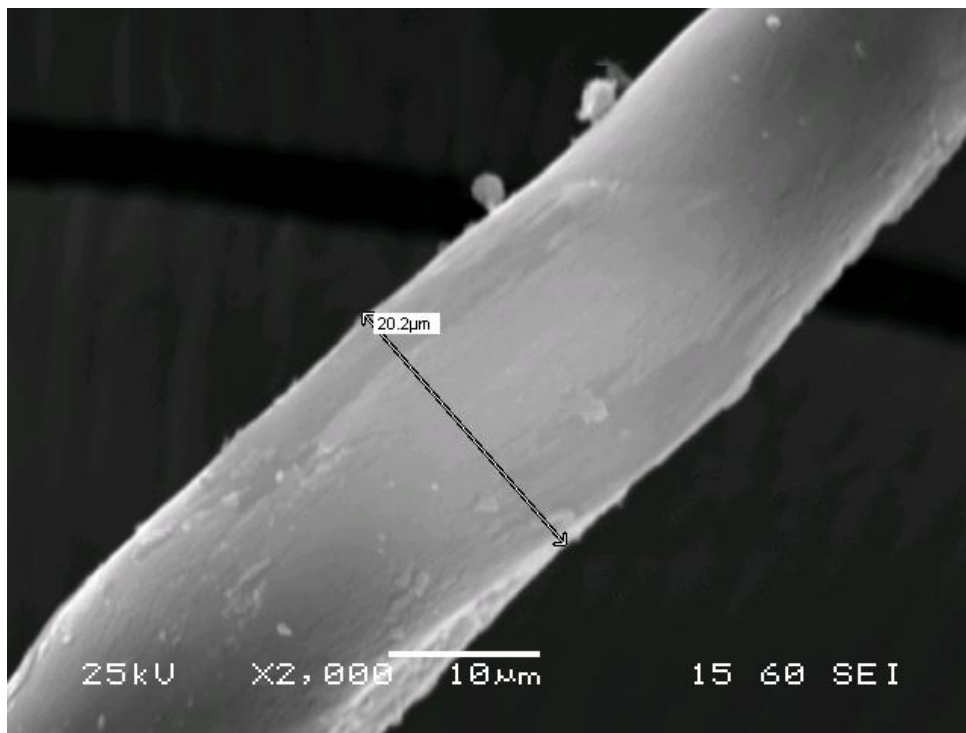


XX. ábra: Paraffin kezelés + tárolás Lawrence oldatban, kötegek szétestek, de csak mérsékelten oldódott

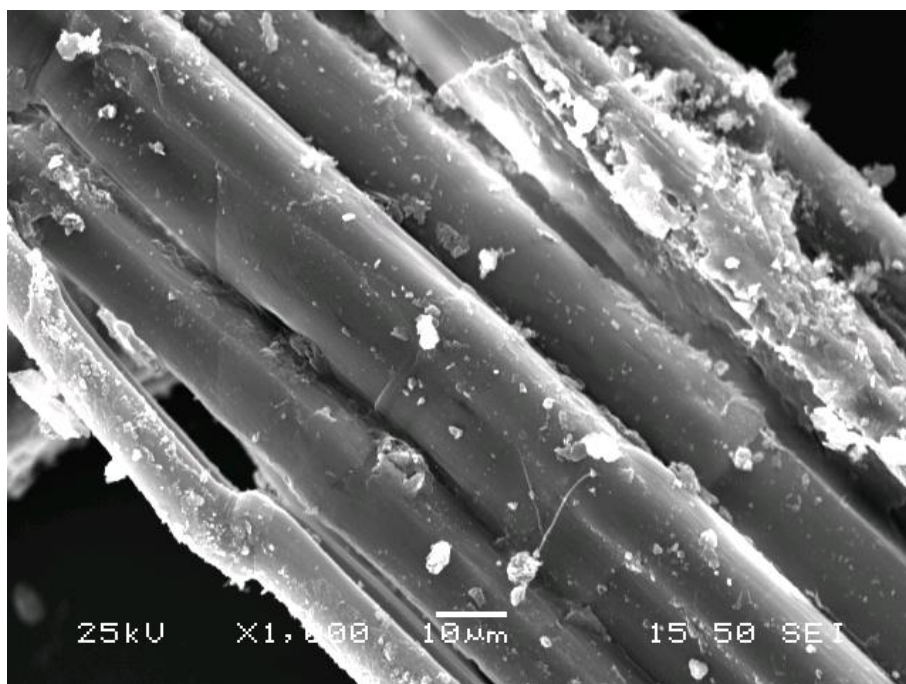
Pásztázó elektron mikroszkópos megfigyelések

Az egyhetes, 40 °C-os kísérlet viszont közel a várt eredményt hozta. Ebben az esetben az egyes szálkötegek már vizsgálhatóak voltak, amit meg is tettünk a BME Szervetlen és Analitikai Kémia Tanszék CH-épületben található pásztázó elektronmikroszkópjával (XXI.-XXIX. ábrák). A szálak átmérőjét is meg tudtuk állapítani (XXI. ábra). A szálak természetes tulajdonságából eredően a pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatkor a kontrasztanyagnak használt arany az elektronsugártól felforrósodott és a kenderszálat a SEM vizsgálat során végezetül legtöbbször elégette.

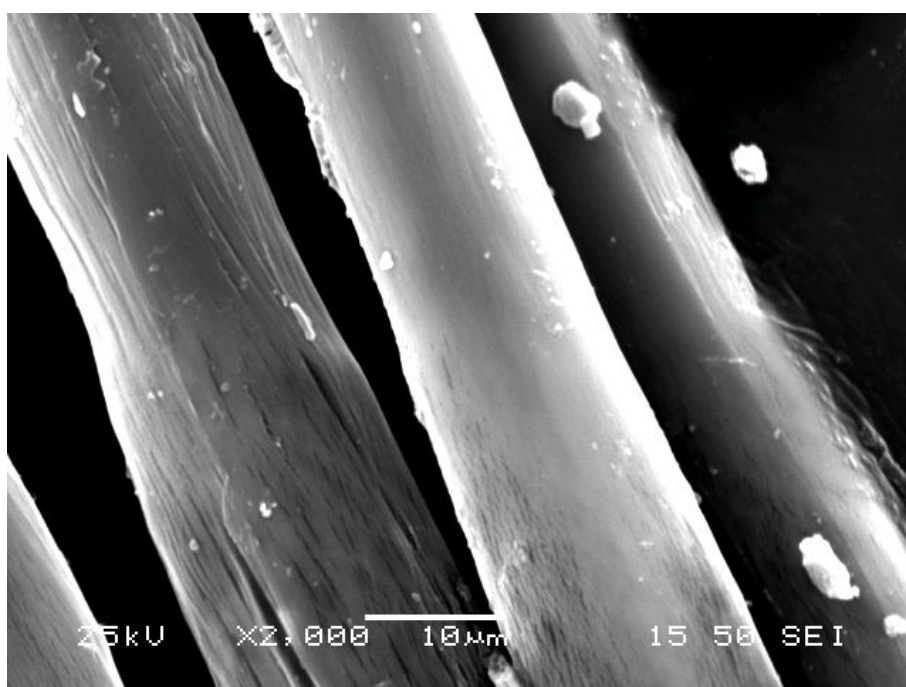
Világosan kiderült, hogy a mésztej, habár pH értéke kisebb, és így kevésbé alkalikus, mint a Lawrence oldat, mégis sokkal nagyobb szerkezeti pusztulást okoz az egyes szálakban, a Ca^{2+} ionok vándorlása miatt.



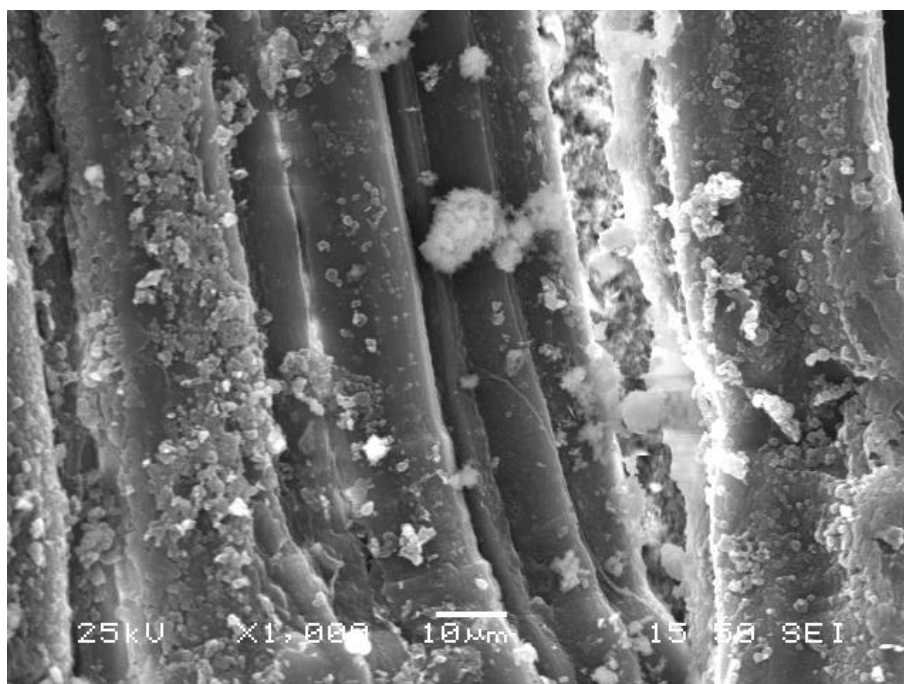
XXI. ábra: Egyedi kenderszál, átmérő: 20,2 μm, kezeletlen szál (N=1000X)



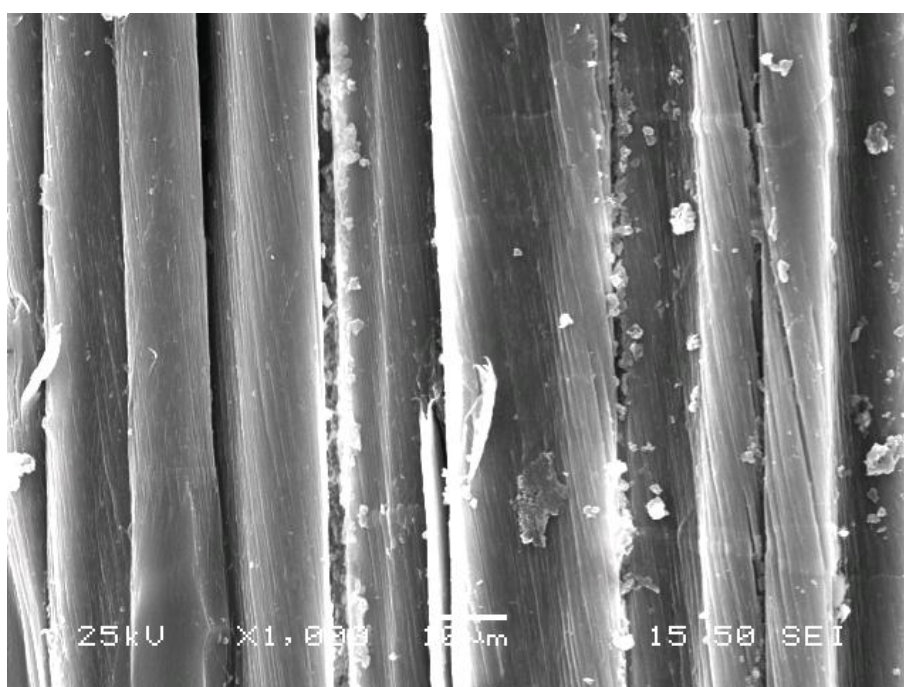
XXII. ábra: Lenolaj kezelés +tárolás mészvízben (N=1000X)



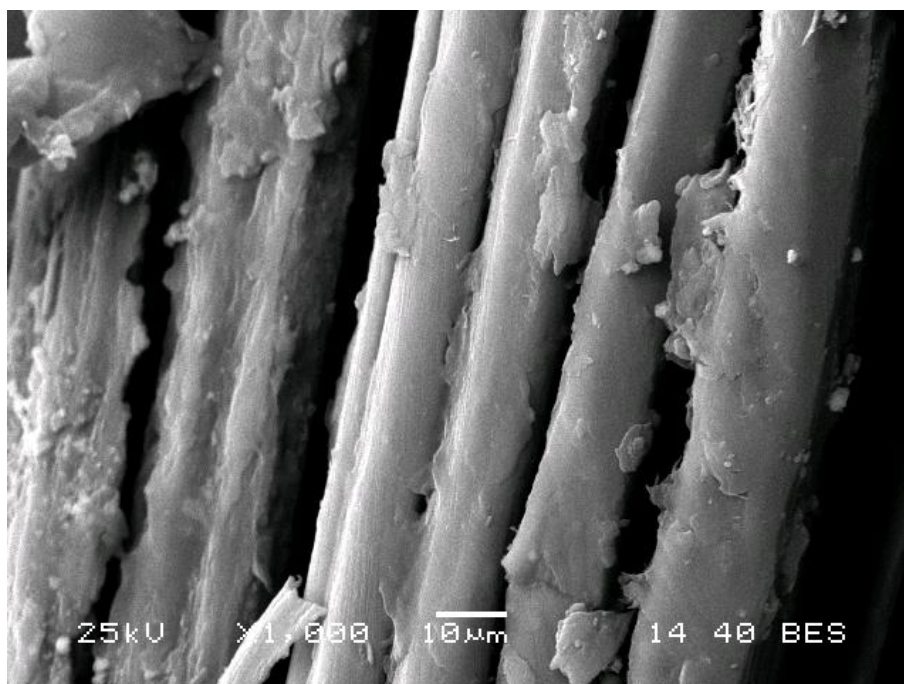
XXIII. ábra: Lenolaj kezelés + tárolás Lawrence oldatban (N=2000X)



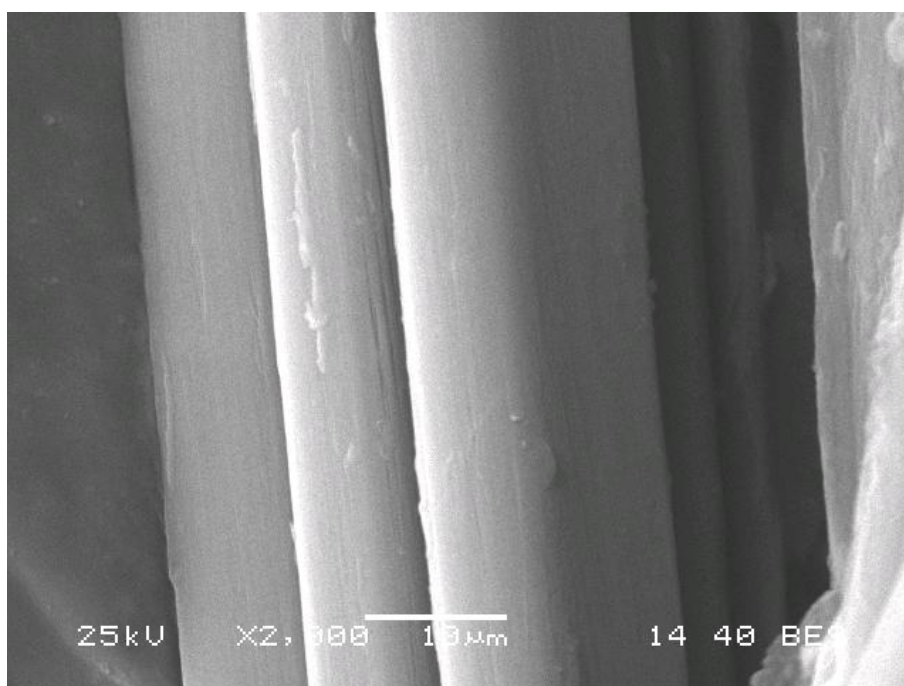
XXIV. ábra: Lenolaj katalizátorral (kezelés) + +tárolás mészvízben (N=1000X)



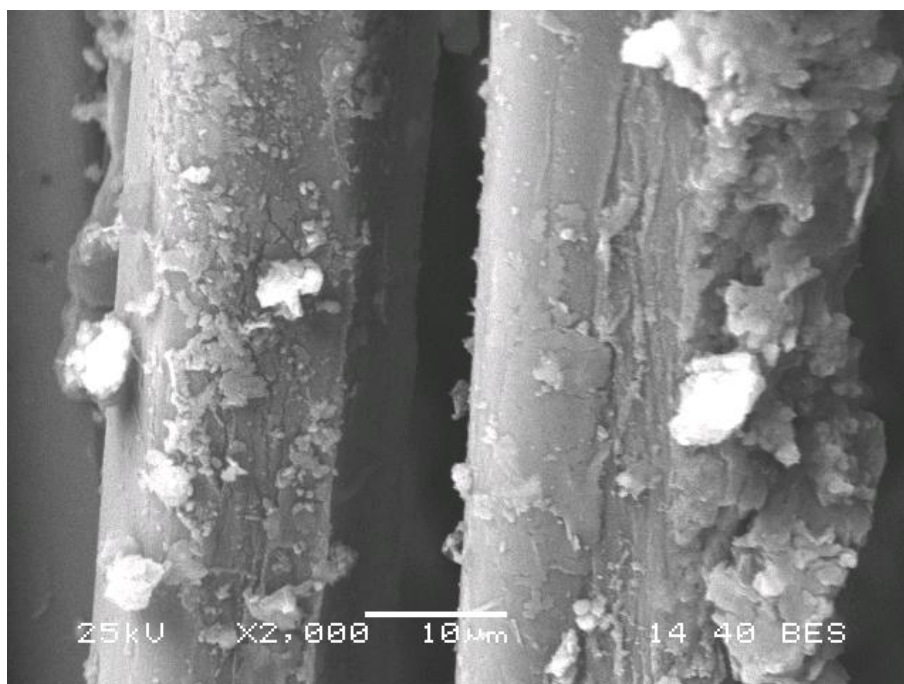
XXV. ábra: Lenolaj katalizátorral (kezelés) + tárolás Lawrence oldatban (N=1000X)



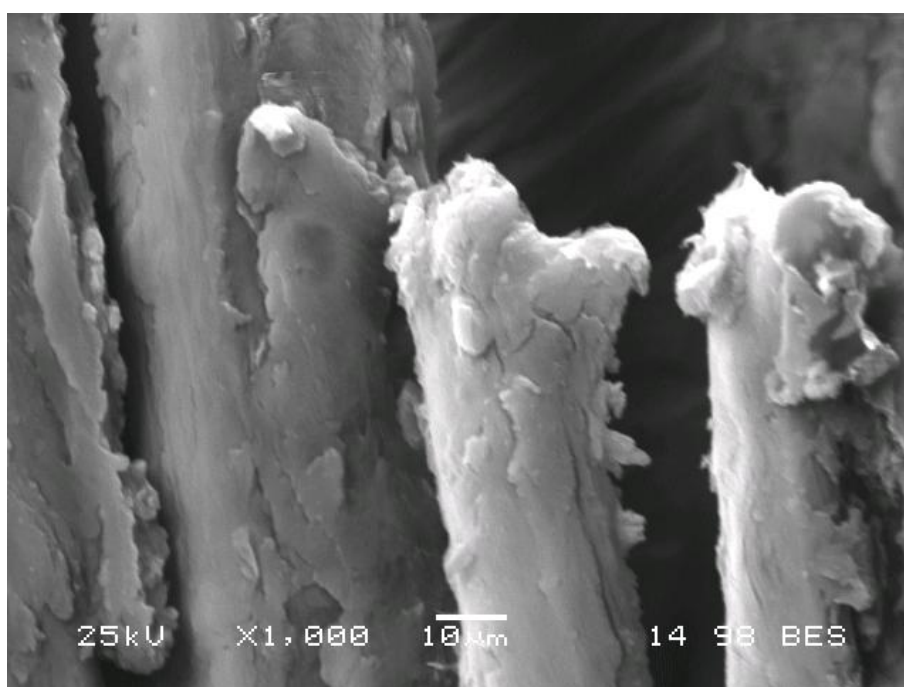
XXVI. ábra: Paraffin kezelés + tárolás mészvízben (N=1000X)



XXVII. ábra: Paraffin kezelés + tárolás Lawrence oldatban (N=2000X)



XXVIII. ábra: Méhviasz kezelés + tárolás mészvízben (N=2000X)



XXIX. ábra: Méhviasz kezelés + tárolás Lawrence oldatban (N=1000X)

Szakítószilárdság vizsgálat

Teszt sorszáma	kezelés	tárolás
9	LO	MV
10	LO	LS
11	LO+	MV
12	LO+	LS
13	P	MV
14	P	LS
15	MV	MV
16	MV	LS

Kontroll próba:

0	nincs	száraz
V (17)	nincs	víz
VI (18)	nincs	mésztej
VII (19)	nincs	Lawrence oldat

Jelmagyarázat:

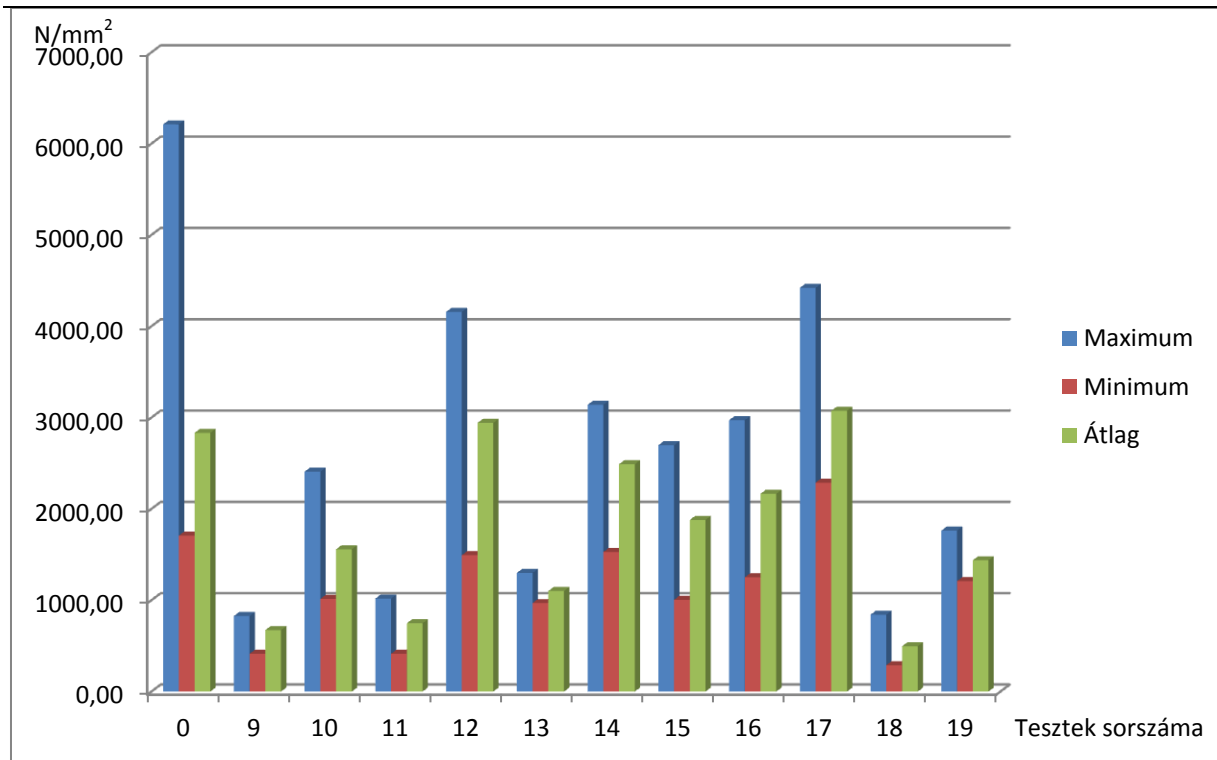
- kezelés: LO lenolaj, LO+ lenolaj katalizátorral, P paraffin viasz, MV méhviasz,
- tárolás: MV mészvíz, LS Lawrence oldat.

A szakítóerők és a mikrométerrel mért szálköteg átmérőkből számított felületek hányadosaként kaptuk a szakítószilárdsági eredményeket (2. és 3. táblázat). a szakítószilárdságokat a vizsgált szálkötegekre a XXIX. ábrán mutatjuk be.

Legfontosabb megállapítások:

- az eredmények nagy tágassága miatt a reprezentatív eredmények érdekében legalább 7 szálköteg elszakítására van szükség,
- a magasabb hőmérsékletű és hosszabb tartóssági teszt következtében a szálak (és néhány esetben a felületkezelő szerek is) teljesen elvesztették eredeti szerkezetüket, szakítópróbának nem tudtuk alávetni,
- a szakítószilárdságot nagyobb mértékben rontotta a mészvizes ($\text{Ca}(\text{OH})_2$ -oldat) tárolás, mint a Lawrence-oldatban történő tárolás,
- a felületkezelés nélkül Lawrence-oldatban tárolt szálkötegek szakítószilárdságuk közel 40%-át veszítették el,
- a paraffin és méhviasz felületkezelő szerek kevésbé védtek a tönkremenetellel szemben, valószínűleg ridegségük és töredezettségük miatt,
- a katalizátoros lenolaj nyújtotta a legjobb védelmet a tartóssági vizsgálatban.

Annak érdekében, hogy még pontosabban megismerhessük a szálak szakítószilárdság vesztését, valósi cementmátrixban beágyazott szálakkal kell további kísérleteket végezni.



XXIX. ábra: Kender szálkötegek (20 szál) szakítószilárdság eredményei

A tartóssági tesztek követő szakító szilárdság eredmények alapján javasoljuk a természetes eredetű kenderszálak olyan betonközegben történő alkalmazását, amely betonban a felhasznált cement nagyobb mennyiségű hidraulikus tulajdonságú vagy látens hidraulikus tulajdonságú kiegészítő anyagot, pl. kohósalakot, vulkáni tufát vagy pernyét tartalmaz. Ezek az anyagok a cement hidratáció során felszabaduló kalcium-hidroxiddal hoznak létre kalcium-szilikát-hidrátokat, tehát ezek az anyagok képesek megkötni a kalcium-hidroxidot, így a szálak kiterjedt mineralizációja és tönkremenetele elkerülhető.

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Építőanyagok és Mérnökgeológiai tanszék - TDK Dolgozat 2012. november 14.

2. táblázat Kenderszál kötegek szakítóvizsgálatának eredményei

Szakítóerő, N	Teszt 0	Teszt 9	Teszt 10	Teszt 11	Teszt 12	Teszt 13	Teszt 14	Teszt 15	Teszt 16	Teszt V (17)	Teszt VI (18)	Teszt VII (19)
Maximum	6211,26	827,61	2408,63	1018,59	4157,52	1299,67	3140,66	2698,14	2972,50	4420,97	842,41	1762,54
Minimum	1707,75	413,80	1014,96	413,80	1494,11	969,25	1527,89	1005,19	1251,58	2287,85	288,83	1210,10
Átlag	2833,14	673,76	1558,14	748,03	2942,74	1101,42	2489,89	1879,88	2166,19	3074,79	496,42	1438,09

3. táblázat Kenderszál kötegek szakítószilárdság eredményei

Minden érték	Teszt 0	Teszt 9	Teszt 10	Teszt 11	Teszt 12	Teszt 13	Teszt 14	Teszt 15	Teszt 16	Teszt V (17)	Teszt VI (18)	Teszt VII (19)
N/mm ²	3594,54	509,30	1136,14	1018,59	2371,08	1299,67	2574,77	1005,19	1251,58	4420,97	481,38	1210,10
	3470,59	413,80	2408,63	700,28	4157,52	1035,33	3140,66	2222,00	2972,50	2287,85	842,41	1341,64
	2823,30	732,11	1287,63	413,80	1494,11	969,25	1527,89	2698,14	2334,67	3426,25	288,83	1762,54
	1707,75	827,61	1014,96	859,44	3930,15		2716,24	1975,11	2118,05	2752,05	373,07	
	2024,51	779,86	1393,67		2760,85			1498,97	2154,16	2486,80		
	6211,26	779,86	1423,97									
	5205,89		2241,99									
Átlag	2833,14	673,76	1558,14	748,03	2942,74	1101,42	2489,89	1879,88	2166,19	3074,79	496,42	1438,09

6. Összefoglalás, kitekintés

A tartóssági tesztek követő szakító szilárdság eredmények alapján javasoljuk a természetes eredetű kenderszálak olyan betonközegben történő alkalmazását, amely betonban a felhasznált cement nagyobb mennyiségű hidraulikus tulajdonságú vagy látens hidraulikus tulajdonságú kiegészítő anyagot, pl. kohósalakot, vulkáni tufát vagy pernyét tartalmaz. Ezek az anyagok a cement hidratáció során felszabaduló kalcium-hidroxiddal hoznak létre kalcium-szilikát-hidrátokat, tehát ezek az anyagok képesek megkötni a kalcium-hidroxidot, így a szálak kiterjedt mineralizációja és tönkremenetele elkerülhető.

Legfontosabb megállapítások:

- az eredmények nagy tágassága miatt a reprezentatív eredmények érdekében legalább 7 szálköteg elszakítására van szükség,
- a magasabb hőmérsékletű és hosszabb tartóssági teszt következtében a szálak (és néhány esetben a felületkezelő szerek is) teljesen elvesztették eredeti szerkezetüket, szakítópróbának nem tudtuk alávetni,
- a szakítószilárdságot nagyobb mértékben rontotta a mésvizes ($\text{Ca}(\text{OH})_2$ -oldat) tárolás, mint a Lawrence-oldatban történő tárolás,
- a felületkezelés nélkül Lawrence-oldatban tárolt szálkötegek szakítószilárdságuk közel 40%-át veszítették el,
- a paraffin és méhviasz felületkezelő szerek kevésbé védtek a tönkremenetellel szemben, valószínűleg ridegségük és töredezettségük miatt,
- a katalizátoros lenolaj nyújtotta a legjobb védelmet a tartóssági vizsgálatban.

Annak érdekében, hogy még pontosabban megismerhessük a szálak szakítószilárdság vesztesét, valódi cementmátrixban beágyazott szálakkal kell további kísérleteket végezni.

Kísérleteink létjogosultsága bár minden kétséget kizár, szeretnénk azt hinni, hogy máris eredményeket értünk el. A célunk szempontjából a legjobb eredményt, a katalizátoros lenolaj felületkezelő szerrel és Lawrence oldatban tárolt szálkötegekkel értük el. Ez utóbbi jobban szimulálta a megfelelő betonban fennálló pórusoldat összetételét, és kevésbé károsította a szálakat.

A tartóssági tesztek követő szakító szilárdság eredmények alapján javasoljuk a természetes eredetű kenderszálak olyan betonközegben történő alkalmazását, amely betonban a felhasznált cement nagyobb mennyiségű hidraulikus tulajdonságú vagy látens hidraulikus tulajdonságú kiegészítő anyagot, pl. kohósalakot, vulkáni tufát vagy pernyét tartalmaz. Ezek az anyagok a cement hidratáció során felszabaduló kalcium-hidroxiddal hoznak létre kalcium-szilikát-hidrátokat, tehát ezek az anyagok képesek megkötni a kalcium-hidroxidot, így a szálak kiterjedt mineralizációja és tönkremenetele elkerülhető.

Bízunk benne, hogy eljőhet a nap, amikor a betonacél, vagy üvegszál szálerősítés helyett nagy tömegekben fognak a környezettudatos építés és a Fenntartható fejlődés jegyében természetes szálakat felhasználni, melyek ökológiai lábnyoma nem hagy nyomot világunkban. Ennek a folyamatnak kívántuk a részesei lenni a Bécsi Műszaki Egyetemmel közösen végzett kísérletekkel.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk köszönetet mondani a Szervetlen és Analitikai Kémia tanszék egyetemi docensének, Dr. Kocka Béla Tanár Úrnak a pásztázó elektronmikroszkópos felvételek készítésében nyújtott segítségéért, továbbá a Bécsi Műszaki Egyetemnek (Technische Universität Wien) Magasépítés és Technológia Intézetének (Institut für Hochbau und Technologie), Dr. Elmar Karl Tschegg Professzor Úrnak, Dr. Merta Ildikó tudományos munkatársnak és Bernhard Streit hallgatónak a kooperációért, a húzószilárdsági tesztek elvégzéséért és a kapott eredmények megosztásáért.

Irodalomjegyzék

- [1] Filho, R.D.T.; Scrivener, K.; England, G.L.; Ghavami, K.: „Durability of Alkali-sensitive Sisal and Coconut Fibres in Cement Mortar Composites”, Cement & Concrete Composites, 22 (2000) pp. 127-143.
- [2] Ghavami, K.; Filho, R.D.T.; Barbosa, N.P.: „Behaviour of Composite Soil Reinforced with Natural Fibres”, Cement & Concrete Composites, 21 (1999) pp. 39-48.
- [3] Juárez, C.; Durán, A.; Valdez, P.; Fajardo, G.: „Performance of Agave Lecheguilla Natural Fiber in Portland Cement Exposed to Severe Environment Conditions”, Building and Environment, 42 (2007) pp. 1151-1157.
- [4] www.domoterc.hu 2012. október 23.
- [5] <http://hokaloviblog.ucoz.hu/index/almok/0-49> 2012. október 25.
- [6] <http://www.kutdiak.kee.hu/diak/nzs/nkender.htm> 2012. október 23.
- [7] <http://hu.wikipedia.org/wiki/Kender> 2012. október 27.
- [8] <http://www.hemp.com/hemp-university/growing-hemp/countries-growing-hemp/> 2012. október 27.
- [9] Romualdi, J.P.; Batson, G.B.: „Behaviour of Reinforced Concrete Beams with Closely Spaced Reinforcement”, ACI Journal, June/1963, pp. 775-790.
- [10] Romualdi, J.P.; Mandel, J.: „Tensile Strength of Concrete Affected by Uniformly Distributed Short Lengths of Wire Reinforcement”, ACI Journal, June/1964, pp. 657-671.
- [11] http://www.epito.bme.hu/eat/oktatas/feltoltesek/BMEEOEMAS04/blgy-hefop-epitoanyagok_ii_-_1_kotet.pdf 2012. október 23.
- [12] <http://inhabitat.com/hemcrete-carbon-negative-hemp-walls-7x-stronger-than-concrete/> 2012. október 28.
- [13] <http://hu.wikipedia.org/wiki/Piknom%C3%A9ter> 2012. október 20.
- [14] http://hu.wikipedia.org/wiki/Pásztázó_elektronmikroszkóp 2012. október 25.
- [15] <http://lechateau-nails.com/other-services.php> 2012. október 25.
- [16] members.iif.hu/rad8012/kemia/maghasadas.doc 2012. október 27.

- [17] <http://hu.wikipedia.org/wiki/Paraffin> 2012. október 28.
- [18] <http://nymphaeasoap.wordpress.com/2010/10/30/mehviasz-beeswax/> 2012. október 25.
- [19] <http://www.otisbt.hu/favedofaapolo/lenolaj/289> 2012. október 25.
- [20] <http://www.polifarbe.hu> 2012. október 29.
- [21] Barneyback, R.S.; Diamond, S. Cement and Concrete. Research, 11/1981, p. 279.
- [22] Litherland, K.L.; Oakley, D.R., Proctor, B.A.: „The Use of Accelerated Ageing Procedures to Predict the Long-term Strength of GRC Composites”, Cement & Concrete Research, 11/1980, pp. 455–466.
- [23] Proctor, B.A.; Oakley, D.R.; Litherland, K.L.: „Developments in the Assessment and Performance of GRC over 10years”, Composites, 13/1982, pp. 173–179.