

## Tekercselt polimer kompozit csövek nedvességfelvételének, merevségének

### és szerkezetének komplex vizsgálati lehetőségei\*

Czél Gergely<sup>1</sup> – Czigány Tibor<sup>2,3</sup>

**Kulcsszavak:** polimer kompozitok, nedvességfelvétel, mechanikai tulajdonságok  
**Keywords:** polymer composite, moisture absorption, mechanical properties

#### Abstract

**Complex testing possibilities of moisture absorption, stiffness and structural changes of filament wound polymer composite pipes.** According to ring compression tests, DMA tests and SEM investigations carried out on glass fibre reinforced unsaturated polyester (GF-UP) composite pipes the following statements have been made:

- The developed test procedure is capable of complex examination of moisture absorption, mechanical properties and structural changes of fibre reinforced polymer composite pipes.
- Moisture absorption highly depends on the length of the specimens and the quality of cut edges.
- The effective modulus of elasticity, extracted from the ring compression tests of the examined pipe material, has not changed significantly for the 850 hours of immersion in deionised water.
- Structural investigations (DMA, SEM) showed, that the structure of the examined pipe material did not change notably during the first 850 hours of the moisture absorption tests.

#### Bevezetés

A mindennapi élet egyre több területén igény mutatkozik speciális tulajdonságú anyagokra. A hagyományos szerkezeti anyagok, a fémek, illetve az olcsó tömegpolimerek (PE, PS, PVC stb.) nem elégítenek ki minden igényt. Az egyre szélesebb körben terjedő polimer mátrixú kompozitok egyszerre kínálnak kiemelkedő szilárdságot, kielégítő rugalmassági moduluszt, korrózióállóságot és egy sor további előnyös tulajdonságot. A polimer kompozitok eleinte kizárólag a legmagasabb technológiai színvonalat képviselő hadiiparban, űrkutatásban és néhány versenysportban jelentek meg [1]. A rendszerint nagy rugalmassági modulusú és szilárdságú erősítőszálakból, és szívos polimer mátrixból szintetizált kompozitok alapanyagainak nagyobb volumenben történő előállítása, az olcsó üvegszál típusok megjelenése tette lehetővé az új anyagok széles körű elterjedését. Az elmúlt évtizedek alatt a polimer kompozitok életünk szinte minden területén sikeressé váltak a fürdőszobai zuhanyzó-

tálcáktól számítógépeink integrált áramköri elemein át a legmodernebb sporteszközökig. A dinamikus fejlődés a kompozitok elfogadható ár mellett elérhető nagy szilárdság/tömeg arányának és előnyös alakadási technológiáinak köszönhető. A sűrűn térhálós polimer mátrixú kompozitok alakadásához nem szükség az anyagot melegíteni, nagy hőmérsékleten kezelni, de a fémek hidegalakításakor fellépő nagy erők és koptató hatások sem jelentkeznek, mindössze a sűrűn folyó komponensek keverését, majd az erősítő anyag átítását kell megoldani általában szobahőmérsékleten [2]. Ilyen módon kis ráfordítással bonyolult formájú termékek hozhatók létre. A polimer kompozitok fejlődése néhány egészen speciális technológia megjelenését hozta magával. Ilyenek például a profilok gyártására alkalmas pultrúzió, – amelynek a fémeknél a profilhúzás, vagy sajtolás, a hőre lágyuló polimerek esetében pedig az extrúzió tekinthető közeli rokonának –, a csövek és tartályok gyártására alkalmas száltekerés, vagy a rotációs öntés, ahol a technológia befejező lépéseként a fémeknél szokásos hűlési folyamatot a polimer mátrix térhálósodása helyettesíti. A példaként említett három speciális technológia egyaránt alkalmas kör keresztmetszetű csövek előállítására, de a nagy szilárdságú csöveket szinte kizárólag a száltekerés alkalmazva gyártják, mivel itt lehet az erősítőszálak szilárdságát a legteljesebb mértékben kihasználni, sőt a szálak tekerésési szögének pontos beállításával az erősítő struktúra az igénybevétel irányához igazítható [3]. Tisztán belső nyomásra igénybevett csövek esetében az optimális tekerésési szög 54,27 fok [4]. Járulékos axiális igénybevétel esetén az optimális szög jelentősen megváltozhat. A flexibilis és testreszabható gyártási technológiának köszönhetően a tekercselt polimer kompozit csövek áttörést hoztak a vegyipar és a szénhidrogén szállítás területein [5]. Az üveg- vagy szénszálból tekercselt csövek nagy nyomáson képesek szállítani a legagresszívabb vegyi anyagokat, kis karbantartási igény mellett. Javításuk vagy karbantartásuk – az acél csövek hegesztésétől eltérően – nem igényel nagy hőbevitelt, ezért nem kell leállítani a szállítást, elegendő az üzemi nyomás csökkentése, és a meghibásodott

\*Közlésre elfogadva: 2007. január 25.

<sup>1</sup>PhD hallgató, <sup>2</sup>akadémiai doktor, tanszékvezető egyetemi tanár – Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Polimer-technika Tanszék; <sup>3</sup>MTA–BME Fémtechnológia Kutatócsoport

## Anyagok

## Materials

szakasz a saját anyagával körbetekercselve kívülről javítható.

A tervezőnek az új kompozit szerkezeti anyagok előnyös tulajdonságai mellett figyelembe kell vennie, hogy anyagszerkezetük miatt a polimerek bizonyos körülmények között a fémes szerkezeti anyagoktól eltérő tulajdonságokat mutatnak. Az acélokkal szemben a polimer mátrixú kompozitok esetenként már környezeti hőmérsékleten is időfüggő tulajdonságokat mutatnak, és egyes környezeti hatásokra is érzékenyebbek. Amíg az acélokat elsősorban az oxidációs hatásoktól kell védeni, addig a polimerek az ultrabolya sugárzás hatására hajlamosak az öregedésre, a hőmérséklet, és a nedvesség pedig a mechanikai tulajdonságaikat befolyásolja jelentős mértékben. Az UV sugárzás elsősorban a térháló, vagy a láncmolekulák tördelésével idéz elő ridegdedést, színváltozást, a nedvesség a polimer mátrix molekulái közé diffundálva lágyítóként funkcionál, míg a hőmérséklet emelkedése akár több nagyságrenddel is csökkentheti a rugalmassági modulust, ezáltal korlátozva az anyagok alkalmazási területeit [6]. A polimer kompozit csöveket érő legfontosabb környezeti hatás a nedvesség. Ez kívülről mint időjárási tényező, belülről pedig üzemi körülményként jelentkezik, mivel a csövek jelentős része vizet, vagy vizes oldatokat szállít. A nedvességfelvétel vizsgálata elengedhetetlen, mivel jelentős befolyással lehet a kompozit anyagok mechanikai tulajdonságaira.

A szakirodalomban a vizsgálati módszerek nagyon széles skálája található. A nedvességfelvételt a szerzők túlnyomó többsége szobahőmérsékletű, vagy emelt hőmérsékletű ioncserélt vízbe vagy egyéb nedves közegbe (pl. tengervíz) történő alámerítéssel, illetve hosszú időtartamú kondicionálás alkalmazásával vizsgálta. A nedvesség-felvételi folyamat időfüggését rendszeres tömegméréssel határozták meg. A mechanikai tulajdonságok mérésénél nagyobb eltérések mutatkoztak egyes kutatók módszerei között. A legalapvetőbb anyagjellemzőket legtöbbször hajlítóvizsgálattal mérték. Számos cikkben [7-15] számolnak be három- és négyponthoz hajlítóvizsgálatokról, amelyeket több esetben [11-15] nyíróvizsgálattal is kombináltak. Jóval kevesebb cikkben [15, 16] tudósitanak húzó- és nyomóvizsgálattal. Ennek oka feltehetően a kompozitok nagy szilárdsága, ami húzó terhelés esetén a próbatest gondos előkészítést igényli (fülek felragasztása a befogási felületekre). A hajlítóvizsgálat egyszerűbben elvégezhető a lemezből kivágott, rúd alakú próbatesteken. A dinamikus vizsgálatokat a legtöbb esetben [7-10, 16-17] DMA mérések segítségével végezték, és vizsgálták a kompozit anyagok üvegesedési hőmérsékletének esetleges eltolódását a nedvességtartalom függvényében. A hosszú időtartamú mechanikai vizsgálatokat általában víz alatt elő-deformációt alkalmazva [13-14, 17], kúszással [18,19], és fárasztással [16] végezték. Néhány

speciális esetben cső alakú formatesteket vizsgáltak [19-20], a csövekre jellemző biaxiális (húzás, belső nyomás) terhelést alkalmazva. Ezekhez a mérésekhez egyedileg fejlesztettek befogó és terhelő készülékeket. Néhány esetben beszámoltak egészen speciális vizsgálati módszerekről is. Nielsen és Toftegaard [21] ultrahang segítségével mérte a szálerősített kompozitok rugalmassági konstansait. Buehler és Seferis [10] szén- és üvegszál as epoxy kompozitok törési szívósságát ( $G_{IC}$ ,  $G_{IIC}$ ) vizsgálta különféle törési módok mellett. Wan és társai [14] a hajlító és nyíró jellemzők mellett az ütőszilárdságot is vizsgálták. Hough, Karad és Jones [7] rövid időre 50 és 200°C közötti hőmérsékletekre melegítette a szénszál as epoxy próbatesteit, majd hosszú időre kondicionálta őket nedves levegőn, és mérte a mechanikai jellemzők változásának mértékét a rövid hőkezelés paramétereivel összefüggésben. Farshad és Necola [18] csövekből vágott gyűrűket terhelte víz alatt, és a terhelés függvényében regisztrálta a tönkremenetelhez szükséges időt. A mechanikai tulajdonságok változásának okait sok esetben a szerkezet változásaival magyarázták a szerzők. Az anyag szerkezetét leggyakrabban pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgálták [8-9, 21].

A feldolgozott irodalmakban található információk felhasználásával és továbbfejlesztésével munkánk céljából polimer mátrixú csövek nedvességfelvételének és mechanikai tulajdonságainak párhuzamos vizsgálatára alkalmas vizsgálati módszer kifejlesztését tűztük ki. A mechanikai tulajdonságok változásait az anyagszerkezet változásaira vezettük vissza, ezért bővítettük az elvégzett vizsgálatok körét néhány szerkezetvizsgálatra alkalmas módszerrel.

### Felhasznált anyagok, és berendezések

Vizsgálatainkhoz a Budaplast Rt. által gyártott, 200 mm névleges átmérőjű csöveket alkalmaztuk, amelyek száltekerccseléssel készültek. A technológia során egy formaleválasztóval kezelt acél szerszámra tekerccselik a gyantafüldön átvezetett üvegszál kötegeket. Az üvegszál kötegbe a gyantafüldön történő áthaladás alatt jut be a gyanta, majd a felesleget eltávolítják. Ezt a lépést nevezzük a szálköteg impregnálásának, amelynek a termék későbbi tulajdonságaira döntő befolyása van. Tökéletlenül impregnált szálakkal nem tudjuk elérni a kompozit anyagok működéséhez elengedhetetlen szál-mátrix határfelületi adhéziót. A mag fordulatszámának, és a mag mellett tengelyirányban oda-vissza futó tekerccselőszán relatív sebességének beállításával a tekerccselési szög pontosan beállítható. A vizsgált csövek esetében ez a szög 55 fok volt a cső hossz tengelyétől mérve. A csövek mátrix anyagául szolgáló ortoftálsavas telítetlen poliészter (UP) gyanta típusa Technobell 755.01, amelyet kifejezetten tartályok, és csövek gyártásához fejlesztettek ki. A gyanta térhálóítását segíti a kobalt-

## Anyagok

## Materials

neftalát katalizátor és metil-etil-ke-ton-peroxid iniciátor alkalmazása. A kompozit csövek erősítő anyaga a teker-cseléshez és pultrúzióhoz kifejlesztett 1200 tex li-neáris sűrűségű, folyamatos üvegszál roving, amely-nek típusjele: Owens Corning R25HX22 type 30. A csövek névleges falvastagsága 4 mm, amely 3 db.  $\pm 55$  fokos rétegpárból és egy, mechanikai szempont-ból elhanyagolható jelentőségű, gyanta dús külső fe-dőrétegből épül fel.

Szálerősített kompozit anyagoknál a száltarta-lom a szilárdságot nagymértékben befolyásolja, ezért elsőként a vizsgált anyag száltartalmát határoztuk meg az MSZ EN ISO 3451-4:2001 szabvány alapján. Három csőből egyforma darabokat vágunk ki, mind-egyik keresztmetszetből hármat, a kerület eltérő pont-jairól. A mintákat 50°C-os szárítószekrénybe helye-ztük, majd 24 óra elteltével tömegmérést végeztünk raj-tuk. Ezt a műveletet addig ismételtük, amíg a tömegük már nem változott. A tömegmérést Ohaus Explorers típusú, 0,1 mg pontosságú analitikai mérleggel vége-ztük. A mintákat ezek után gázégő segítségével kiéget-tük, majd 700°C-os izzítókemencébe helyeztük. Az égő és a kemence segítségével a kompozitból teljes mértékben eltávolítottuk a mátrix anyagot, így tisztán az üvegszálak maradtak vissza. Ezek tömegét ismét megmértük. Az eredeti tömegből és az így kapott tö-megből számolható a kompozitban lévő erősítőanyag tömeghányada. Az (1) összefüggésből pedig könnyen meghatározható a kompozit száltartalma térfogatszáz-alékban kifejezve:

$$\phi_{\text{üveg}} = \frac{m_{\text{üveg}}}{m_{\text{kompozit}}} \cdot \frac{\rho_{\text{kompozit}}}{\rho_{\text{szál}}} = \psi_{\text{üveg}} \cdot \frac{\rho_{\text{kompozit}}}{\rho_{\text{szál}}} \quad (1)$$

ahol  $\phi_{\text{üveg}}$  (tf %) az üvegszál térfogathányada,

$\psi_{\text{üveg}}$  (m%) az üvegszál tömeghányada,

$\rho_{\text{kompozit}}, \rho_{\text{szál}}$  (g/cm<sup>3</sup>) a kompozit és az üvegszál sűrű-sége,  $m_{\text{üveg}}, m_{\text{kompozit}}$  (g) az erősítőanyag és a kom-pozit tömege.

A kompozit sűrűségének meghatározásához a csövekből egyforma méretű darabokat vágunk ki. A kompozit minták tömegét megmértük szabad levegőn, majd metilalkoholba mérítve. A mért adatokból a (2) összefüggés segítségével kiszámoltuk a térfogathá-nyad összefüggésébe helyettesítendő kompozit sűrű-séget.

$$\rho_{\text{kompozit}} = \left( \frac{m_{\text{levegő}}}{m_{\text{levegő}} - m_{\text{alkohol}}} \right) \cdot \rho_{\text{alkohol}} \quad (2)$$

ahol  $\rho_{\text{alkohol}}$  (g/cm<sup>3</sup>) az alkohol sűrűsége, amely 21,9°C-on 0,7877 g/cm<sup>3</sup>,  $m_{\text{levegő}}, m_{\text{alkohol}}$  (g) a minta

tömege levegőn és metilalkoholban,  $\rho_{\text{kompozit}}$  (g/cm<sup>3</sup>) a kompozit sűrűsége.

Az ismertett módszerekkel a kompozit csö-vek anyagának sűrűsége 1,856 g/cm<sup>3</sup>-re, és száltar-talma 47,1 tf %-ra adódott.

A víz alá merített próbatetek tömegének mé-réséhez  $\pm 0,01$  g pontosságú, Radwag WXD 200/2000 típusú, hiteles asztali mérleget használtunk. A me-chanikai vizsgálatokat Zwick Z050 típusú univerzális, számítógép vezérlésű szakítógéppel végeztük. A pró-batestek nedvességfelvétel-mérés előtti kondicionála-sához, illetve szárításához Heraeus UT20 típusú lég-cirkulációs szárítószekrényt használtunk, amely képes fenntartani az  $50,0 \pm 1$  °C hőmérsékletet. A termo-mechanikai (DMA) mérések elvégzéséhez Perkin El-mer DMA7e típusú termomechanikai analizátort hasz-náltunk, amely -100 és +150 °C között mérte a kompozit csőanyag tárolási rugalmassági modulusá-nak és veszteségi tényezőjének változását. A mikro-szkópos vizsgálatokhoz JEOL JSM-6 380LA típusú pásztázó elektronmikroszkópot alkalmaztunk. A geo-metriai méretek meghatározásához  $\pm 0,1$  mm pontos-ságú Mitutoyo Absolute Digimatic tolómérőt használ-tunk.

## Vizsgálati módszerek

### A vízfelvétel vizsgálata

A próbatetek vízfelvétele – alakjuktól elte-kintve – az MSZ EN ISO 62:2001 szabvány előírásai alapján vizsgáltuk. Az alak tekintetében a teker-cselt struktúra megtartása miatt tértünk el a szabvány aján-lásaitól. Az 1 m hosszúságú csövekből 8 különböző típusú, gyűrű alakú próbatestet készítettünk, minden típusból 3-3 db-ot. A vágás pontossága:  $\pm 0,5$  mm. A próbatest típusok egymástól a hosszúságukban (20, 40, 80, 160 mm) és a vágási éleik minőségében kü-lönböztek. Mivel a vágás következtében a vágási éle-ken szabaddá válnak a szálvégek, a szál-mátrix határ-felületek, ezért az esetlegesen eltérő vízfelvételi ka-rakterisztika megállapítása céljából a vágott homlokfe-lületeket a csövek mátrix anyagával szigeteltük. Az 1. táblázat az elkészített próbatest típusokat, és azok névleges geometriai adatait mutatja. A próbatetek mechanikai tulajdonságait a próbatetek tényleges geometriai adataival számítottuk ki. Minden gyűrű mindkét homlokfelületén a kerület három, 120 fokkal elfordított szöghelyzetű pontján mértünk.

A megmért geometriájú próbatesteket vízzel és acetonnal tisztítottuk, zsírtalanítottuk, majd 50°C-os szárítószekrényben tömegállandóságig szárítottuk. Arra folyamatosan ügyeltünk, hogy a próbatetek csak zsírtalanított felületekkel érintkezzenek. A szárítás után felvettük a kezdeti tömeg adatokat. A szárító-szekrényből kivett próbatesteket rövid ideig szobahő-mérsékleten hűtöttük, majd tömegüket  $\pm 0,01$  g pon-

## Anyagok

## Materials

tossággal megmértük. Ezt követően azonnal megmértük a gyűrű effektív rugalmassági modulusát is (lásd később), majd ioncserélt vízzel töltött, előzőleg tisztított tartályokba merítettük. A próbatestek tömegét rendszeresen mértük. A vízből kiemelt nedves próbatesteket háztartási papírtörlővel cseppmentesre töröltük, majd zsírtalanított mérlegen a kivételhez képest a lehető leghamarabb mértük a tömegüket. Tömegmérés után egy percen belül elvégeztük a gyűrűnyomó vizsgálatot, és visszahelyeztük a próbatestet a vízbe, a túlzott mértékű nedvességvesztés elkerülése érdekében. A relatív tömegnövekedést a (3) összefüggés segítségével számítottuk.

$$\Delta m(t) = \frac{m_2(t) - m_1(t_0)}{m_1(t_0)} \cdot 100 \quad (3)$$

ahol  $\Delta m(t)$  (%) a próbatest által felvett víz relatív mennyisége,  $m_2(t)$  (g) a próbatest  $t$  időpillanatban mért tömege,  $m_1(t_0)$  (g) a próbatest bemelegítés előtti száraz tömege.

**1. táblázat. Próbatest típusok**  
**Table 1: Types of specimens**

Kód	Névleges hossz (mm)	Névleges belső átmérő (mm)	Névleges falvastagság (mm)	Vágott él szigetelés
20_1...3	20	200	4	nincs
40_1...3	40	200	4	nincs
80_1...3	80	200	4	nincs
160_1...3	160	200	4	nincs
20_4...6	20	200	4	van
40_4...6	40	200	4	van
80_4...6	80	200	4	van
160_4...6	160	200	4	van

### Gyűrűnyomó vizsgálatok

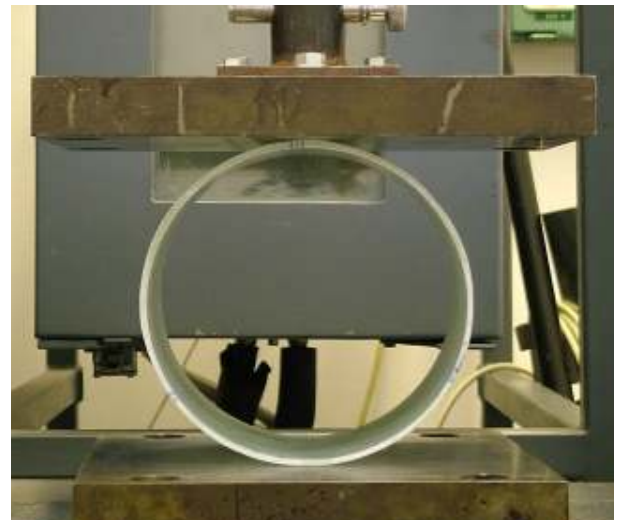
A vizsgált csövek mechanikai tulajdonságainak mérésére az ÖNORM B 5161 osztrák szabványban leírt gyűrűnyomó vizsgálatot alkalmaztuk (1. ábra). Ennek előnye, hogy a vizsgált cső szerkezetét nem kell megbontani a próbatestek elkészítésekor, így a vizsgálat során meghatározott anyagjellemzők a tényleges csőszerkezet tulajdonságaival jobban egyeznek, mintha a csövekből kivágott kisebb darabokon mértünk volna. A vizsgálatokat az anyag rugalmas viselkedési tartományában végeztük, hogy a próbatestek ne károsodjanak a mérés során, és a méréseket rendszeresen meg lehessen ismételni ugyanazon próbatesteken. Erre azért volt szükség, mert így kezelhető térfogatban el tudtuk helyezni a próbateste-

inket. Az előző fejezetben leírtak szerint előkészített próbatesteken minden tömegmérés után elvégeztük a gyűrűnyomó vizsgálatokhoz két, egymással párhuzamos sík nyomólapot használtunk. Minden gyűrűnek a kerülete mentén 3 pontot jelöltünk ki, 120°-al elforgatva egymáshoz képest. Ezen pontoknál végeztük el a vizsgálatokat és a kiértékeléskor átlagoltuk a kapott eredményeket. A szakító berendezést úgy állítottuk be, hogy mérés közben az alakváltozás, illetve a függőleges deformáció ( $\Delta u$ ) a próbatestek középpátmérőjének 3%-át ne haladja meg. A gyűrű alakú próbatestek effektív rugalmassági modulusát a (4) és (5) összefüggések segítségével határoztuk meg.

$$E_{eff} = 0,223 \cdot \frac{D_n^3}{s^3 \cdot L} \cdot \frac{\Delta F}{\Delta u} \quad (4)$$

$$D_n = D_b + s \quad (5)$$

ahol  $E_{eff}$  (GPa) a gyűrű effektív rugalmassági modulusa,  $D_n$  (mm) a gyűrű középpátmérője,  $\Delta F$  (N) a mért erő változása a kapott görbe egy szakaszán,  $\Delta u$  (mm) a próbatest függőleges deformációjának változása az erőváltozáshoz tartozó görbeszakaszon,  $L$  (mm) a gyűrű hossza,  $s$  (mm) a gyűrű falvastagsága,  $D_b$  (mm) a cső belső átmérője.



**1. ábra. Gyűrűnyomó vizsgálat elrendezése**  
**Fig. 1: Arrangement of ring compression tests**

### Termomechanikai (DMA) vizsgálatok

A termomechanikai vizsgálatokkal az volt a célunk, hogy kimutassuk a vízfelvétel, illetve leadás hatását a vizsgált anyagban végbemenő szerkezeti változásokra. Ennek megfelelően csak a szerkezeti változásokra utaló jellegzetes hőmérséklet értékek,

## Anyagok

## Materials

elsősorban az üvegesedési hőmérséklet kimutatására szorítottunk. A vizsgálat során hárompontos hajlító igénybevételt alkalmaztunk 15 mm alátámasztási távolság és 4 mm-es névleges szélesség, valamint 1 Hz frekvencia, és 10  $\mu$ m amplitúdó mellett. A vizsgálatokat -100 és +150°C között végeztük.

### Elektronmikroszkópos (SEM) vizsgálatok

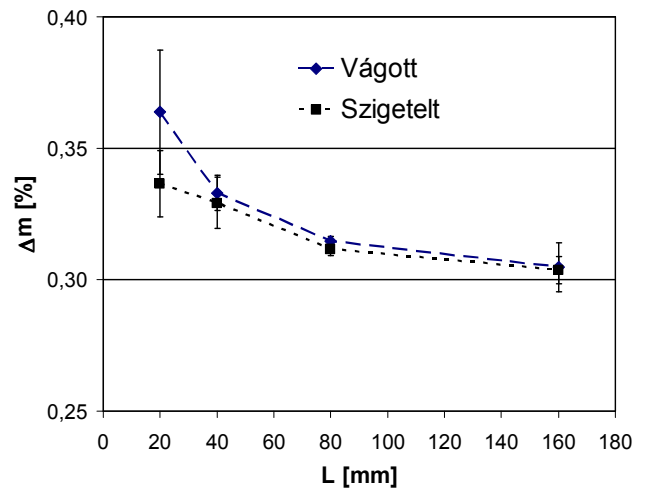
A vizsgált kompozit csövek nedvesség hatására bekövetkező anyagszerkezet-változásait pásztázó elektronmikroszkópos felvételek elemzésével is figyelemmel kísértük. A felvételeket száraz, illetve 850 órára ioncserélt víz alá merített, majd kiszáritott darabokon készítettük. A mintákat az elektronnyaláb hatására bekövetkező elektrosztatikus töltődés elkerülése végett a vizsgálatok előtt aranyoztuk.

## Eredmények

**A vízfelvétel vizsgálatok** eredményei alapján megállapítottuk, hogy az adott idő alatt felvett nedvesség mennyisége jelentősen függ a vizsgált gyűrű alakú próbatetek hosszától, amint ez a 2. ábrán is jól látható. Ennek oka az, hogy szálerősített anyagok tömör mátrixban és erősítő anyagában a diffúzió a szálmátrix határfelületen jelentkező kapilláris jelenségekkel párhuzamosan játszódik le. A 2. ábrán jól látszik, hogy a rövidebb próbatetek, ahol a vágott felületek aránya nagyobb, több nedvességet vettek fel az eltelt 850 óra alatt. Mérési eredményeink alapján kijelenthetjük, hogy a próbatetek vágási felületein keresztül jelentős mennyiségű nedvesség jut az anyagba. Ennek oka az, hogy a vágási felületeken szabaddá válnak a szál-mátrix határfelületek, és a kapilláris vízfelvétel dinamikusabban tud lejátszódni, a többi felülettel ellentétben, ahol a szálak mátrix anyaggal fedettek. Ezt a megállapítást igazolja, hogy a vágási élek szigetelése szignifikánsan csökkentette mind a négy különböző hosszúságú cső vízfelvételét.

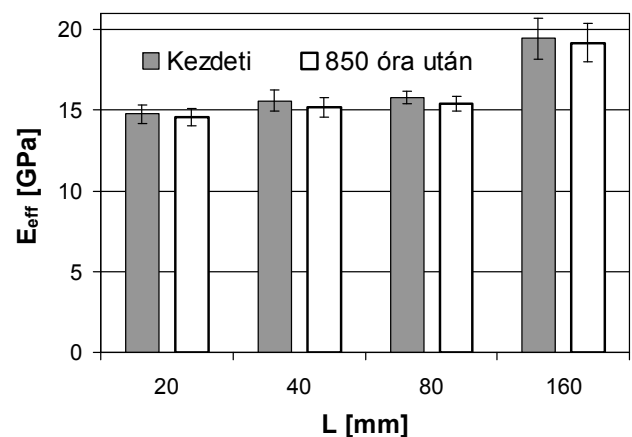
**A gyűrűnyomó vizsgálatok**, a korábbi vizsgálatainkhoz képest jelentősen eltérő eredményeket mutattak. Korábban az eltérő összetételű üvegszál erősítésű telítetlen poliészter csövekből készített gyűrű próbatetekken 20-30%-os effektív rugalmassági modulus csökkenést tapasztaltunk. Jelen vizsgálataink során nem sikerült szignifikáns változást kimutatni a csövek merevségében. A 3. ábrán is látható, hogy 850 óra elteltével csak nagyon kis mértékben csökkentek az effektív rugalmassági modulusok. Megállapíthatjuk továbbá, hogy a próbatetek merevsége a próbatest hosszúságával szignifikánsan nő. Ennek oka az, hogy a tekerceselési technológia eredményeként a szálerősítés ferde rétegekben van jelen a gyűrűkben. Minél hosszabb egy próbatest, annál hosszabb szálak találhatóak benne, és a vágott élek környezetében bekövetkező szerkezeti eltérések egyre kevésbé rontják a darab tulajdonságait, mivel ezek a

teljes hosszúsághoz képest csak kis térfogatra terjednek ki.



2. ábra. A próbatetek relatív tömegnövekedése 850 órára víz alá merítés hatására hosszúságuk függvényében

Fig. 2: Relative weight growth ( $\Delta m$ ) after 850 hrs of the water immersed ring form specimens having cut ( $\rightarrow$ ) and isolated ( $\dashrightarrow$ ) cutting front surfaces vs. specimen's length (L)



3. ábra. Effektív rugalmassági modulusok alakulása különböző próbatest hosszúságok esetén száraz és 850 órára víz alá merített állapotban

Fig. 3: Effective modulus of elasticity of specimens with various lengths in dry ( $\blacksquare$ ) and immersed ( $\square$ ) state after 850 hrs

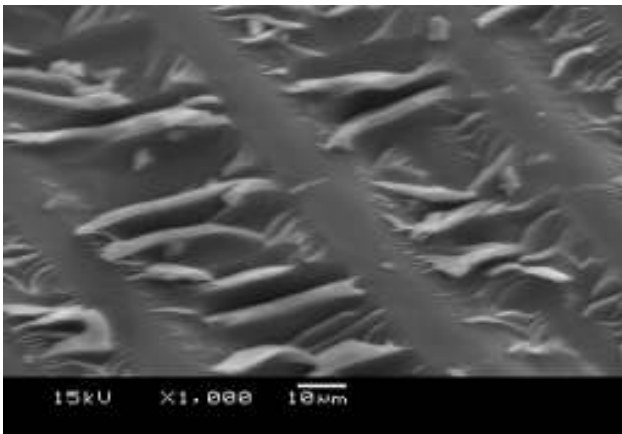
**A termomechanikai vizsgálatok** eredményei alapján megállapítottuk, hogy a száraz próbatetek üvegesedési hőmérséklete:  $75,3 \pm 8,8^\circ\text{C}$  – 9 próbatest adatainak átlaga. A 850 órára keresztül víz alatt tartott, majd kiszáritott próbateteknek ennél kisebb,  $71,5 \pm 10,5^\circ\text{C}$  az üvegesedési hőmérséklete – 5 próbatest adataiból átlagolva. Ez az eltérés nem tekinthető jelentősnek, a szórásmezők átfedése miatt. A 850 órára át víz alatt tartott, és nedvesen vizsgált próbatetek viszont szignifikánsan alacsonyabb,  $53,1 \pm 13,4^\circ\text{C}$

## Anyagok

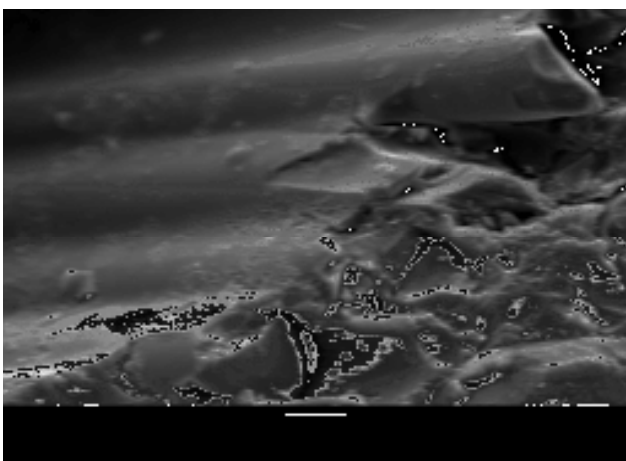
## Materials

üvegesedési hőmérsékletet mutattak – 5 mérés átlaga. Megállapíthatjuk, hogy a víz lágyító hatása megjelent, viszont a deszorpció után a próbatetek visszanyerték korábbi tulajdonságaikat.

**Mikroszkópos vizsgálatok.** Mikroszkóppal elsősorban a szál-mátrix határfelületeket vizsgáltuk víz alá merítés előtt, és 850 óra elteltével. A 4. ábra egy száraz állapotban vizsgált darab szálakkal párhuzamos töretfelületét mutatja. A felvételen látható, hogy a szálak jól be vannak ágyazva a mátrix anyagba, illetve a mátrix tönkremenetele szívós jellegű. Az 5. ábra egy víz alá merített, majd kiszáritott próbatestet mutat. A szálakat itt is szorosan körülveszi a mátrix anyag, a nedvesség hatására nem következett be szerkezeti változás, a szál-mátrix határfelület jónak mondható.



4. ábra. Az egyik száraz próbatest SEM képe  
Fig. 4: SEM micrograph of a dry specimen



5. ábra. Az egyik 850 órára víz alá merített, majd kiszáritott próbatest SEM képe

Fig. 5: SEM micrograph of an immersed and then dried specimen

A felvételek elemzésének segítségével közelebb kerültünk a mechanikai vizsgálatok eredményei-

nek megértéséhez. Az anyag merevsége nagy valószínűséggel azért nem csökkent jelentős mértékben, mert a szerkezete sem változott. A jó nedvességtűrés arra vezethető vissza, hogy az alkalmazott mátrix anyagot speciálisan csövek és tartályok gyártására fejlesztették ki, azonban az adalékokról, és egyéb módosító hatásokról nem áll rendelkezésünkre információ.

### Összefoglalás

Üvegszál erősítésű telítetlen poliészter mátrixú kompozit csöveken végzett nedvességfelvétel, gyűrűmerevség, DMA, illetve SEM vizsgálatok alapján a következő megállapításokat tettük:

- A kialakított vizsgálati protokoll alkalmas szál-erősített polimer kompozit csövek nedvességfelvételének, mechanikai tulajdonságainak, és szerkezeti változásainak komplex vizsgálatára.
- A vízfelvétel jelentősen függ a gyűrű alakú próbatetek hosszától, illetve a vágási élek minőségétől.
- A vizsgált csövek gyűrűnyomó vizsgálatból meghatározott effektív rugalmassági modulusa nem változott szignifikánsan a vizsgálatok első 850 órája során.
- A szerkezetvizsgálatok (DMA, SEM) során kimutattuk, hogy a vizsgált csövek anyagának szerkezete nem változott jelentős mértékben nedvesség hatására a vizsgálatok első 850 órája során.

### Köszönetnyilvánítás

A cikkben közölt eredmények a Gazdasági és Közlekedési Minisztérium GVOP-3.1.1.-2004-05-0215/3.0, számú, valamint az Országos Tudományos Kutatási Alap OTKA T 049126 és NI 62729 számú pályázatainak támogatásával jöttek létre.

### Felhasznált irodalom

- [1] Gay D., Hoa S. V., Tsai S. W.: Composite materials. CRC Press, London 2003.
- [2] Czvikovszky T., Nagy P., Gaál J.: A polimer-technika alapjai. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000.
- [3] Czel G., Czigány T.: Development and analysis of filament wound new composite pipes made of glass fibre reinforced 3P resin. Macromolecular Symposia. 239 (2006), 232-244.
- [4] Thamm F.: Műanyagok szilárdságtana II. Budapesti Műszaki Egyetem Mérnöki Továbbképző Intézet, Budapest, 1985.
- [5] True W. R.: Special report worldwide pipeline construction leap in worldwide pipeline construction-plans lags industry downturn, Oil&Gas Journal. 100 (2002), 64-82.

## Anyagok

## Materials

- [6] *Bodor G., Vas L. M.*: Polimer anyagszerkezettan. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1995.
- [7] *Hough J. A., Karad S. K., Jones F. R.*: The effect of thermal spiking on moisture absorption, mechanical and viscoelastic properties of carbon fibre reinforced epoxy laminates. *Composites Science and Technology*. 65 (2005), 1299-1305.
- [8] *De La Osa O., Alvarez V., Vázquez A.*: Effect of hygrothermal history on water and mechanical properties of glass/vinylester composites. *Journal of Composite Materials*. In Press. 2006.  
DOI 10.1177/0021998306061319
- [9] *Fraga A. N., Alvarez V. A., Vázquez A., De La Osa O.*: Relationship between dynamic mechanical properties and water absorption of unsaturated polyester and vinyl ester glass fiber composites. *Journal of Composite Materials*. 37 (2003), 1553-1574.
- [10] *Buehler F. U., Seferis J. C.*: Effect of reinforcement and solvent content on moisture absorption in epoxy composite materials. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 31 (2000), 741-748.
- [11] *Wan Y. Z., Wang Y. L., Huang Y., Zhou F. G., He B. M., Chen G. C., Han K. Y.*: Moisture sorption and mechanical degradation of VARTMed three-dimensional braided carbon-epoxy composites. *Composites Science and Technology*. 65 (2005), 1237-1243.
- [12] *Kootsookos A., Mouritz A. P.*: Seawater durability of glass- and carbon-polymer composites. *Composites Science and Technology*. 64 (2004), 1503-1511.
- [13] *Gellert E. P., Turley D. M.*: Seawater immersion ageing of glass-fibre reinforced polymer laminates for marine applications. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 30 (1999), 1259-1265.
- [15] *Wan Y. Z., Wang Y. L., Lou H. L., Dong X. H., Cheng G. X.*: Moisture absorption behavior of C<sub>30</sub>/EP composite and effect of external stress. *Materials Science and Engineering A*. 326 (2002), 324-329.
- [16] *Miller P. H.*: Effects of moisture absorption and test method on the properties of E-glass/polyester hull laminates. *Journal of Composite Materials*. 36 (2002), 1065 - 1078.
- [17] *Perreux D., Suri C.*: A study of the coupling between the phenomena of water absorption and damage in glass/epoxy composite pipes. *Composites Science and Technology*. 57 (1997), 1403-1413.
- [18] *Choi H. S., Ahn K. J., Nam J. D., Chun H. J.*: Hygroscopic aspects of epoxy/carbon fiber composite laminates in aircraft environments. *Composites: Part A: Applied Science and Manufacturing*. 32 (2001), 709-720.
- [19] *Farshad M., Necola A.*: Effect of aqueous environment on the long-term behaviour of glass fiber-reinforced plastic pipes. *Polymer Testing*. 23 (2004), 163-167.
- [20] *Hale J. M., Gibson A. G., Speake S. D.*: Biaxial failure envelope and creep testing of fibre reinforced plastic pipes in high temperature aqueous environments. *Journal of Composite Materials*. 36 (2002), 257 - 270.
- [21] *Ellyin F., Maser R.*: Environmental effects on the mechanical properties of glass-fiber epoxy composite tubular specimens. *Composites Science and Technology*. 64 (2004), 1863-1874.
- [22] *Nielsen S. A., Toftegaard H.*: Ultrasonic measurement of elastic constants in fiber-reinforced polymer composites under influence of absorbed moisture. *Ultrasonic* 38 (2000), 242-246.

## Konferencia felhívás

A 3. „China-Europe Symposium on Processing and Properties of Reinforced Polymers” nemzetközi konferencia 2007. június 12-14 között, Budapesten kerül megrendezésre. **Célja:** bemutatni a legfrissebb kutatási eredményeket az új kompozit anyagok és technológiák fejlesztése területén. Így kiemelt szerepet kapnak a nanokompozitok, az intelligens anyagok, a hibrid kompozitok, a biodegradálható anyagok, a szimuláció és modellezés, a nagy teljesítményű kompozitok, a legújabb módszertani fejlesztések és vizsgálati technikák, valamint az újrahasznosítás.

A konferencia kiváló lehetőséget nyújt mind az európai kutatókkal való kapcsolatteremtésre, a nemzetközi pályázati konzorciumok munkájába való bekapcsolódásra, mind a robbanásszerűen fejlődő kínai műanyagiparral való kapcsolatfelvételre a konferenciára érkező kb. 50 kínai résztvevőn keresztül. **Bővebb információ és regisztráció** a <http://3ch-eu.pt.bme.hu/> honlapon.

