

Azonos irányba rendezett kenderszálakkal erősített kompozitok¹

Mezey Zoltán* – Czigány Tibor**

Kulcsszavak: mechanikai vizsgálatok, természetes szálak, kenderszál, egyirányúan erősített kompozit
Keywords: mechanical testing, natural fibres, hemp fibre, unidirectional composites

Summary

Unidirectional composites reinforced by hemp fibre.

Mechanical properties of hemp fibre reinforced unsaturated polyester composites were investigated. 4 mm thick composite rods were made using the open end moulds with the width of 10 and 20 mm; the impregnated, unidirectional arranged hemp slivers were placed into the moulds, and pressed. Fibre content was varied between 10 and 75 percent. Tensile, three-point bending and Charpy-impact tests were carried out on the composites at an ambient temperature measured the tensile and the bending elastic modulus and strengths and the dynamic fracture mechanical properties (tables 1–3 and figures 1–3). Results showed, that hemp fibres are perfectly suitable to reinforce unsaturated polyester resin. By increasing fibre content up to 60 m/m% the mechanical properties improved. Composites having a fibre content higher than 60% showed stagnant or weakening mechanical properties. The reason can be the imperfect wetting, and thus weaker reinforcing effect of the fibres.

Bevezetés

Az egyre jelentősebb környezetszennyezés lelassítása érdekében intenzív kutatómunka irányul a természetes, megújuló anyagok és erőforrások hasznosítására. A széles körben elterjedt üvegszálak természetes szállal történő helyettesítése számtalan előnnyel jár. Pervaiz és Sain [1] kutatásai alapján 1 tonna üvegszállal erősített műanyag előállításához 7,5 t CO₂ kibocsátással jár, míg ugyanennyi természetes szállal erősített műanyag csak 4,5 tonnával terheli a környezetet. Ha a mai autókban található üvegszálak alkatrészek felét természetes szállal erősített cserélnék, akkor egyedül Észak-Amerikában évente több mint 1 millió tonnával csökkenne a gyártásból származó CO₂ kibocsátás. További 2 millió tonna csökkenést eredményezne a természetes szálak kisebb sűrűsége miatti tömegcsökkenésből származó üzemanyag-megtakarítás. Ha figyelembe vesszük a termé-

szetes anyagok lényegesen egyszerűbb újrahasznosításából származó előnyöket is, érthető, miért fordítanak ennyi figyelmet a természetes szálak felhasználhatóságának javítására.

Számos előnyös tulajdonsága mellett a természetes szálaknak hátrányai is vannak, amik korlátozzák a felhasználhatóságukat. Gassan és Bledzki [2] a fő problémát a magas nedvességfelvételben, a rossz beágyazhatóságban, az üvegszálnál kisebb szakítószilárdságban és a nem megfelelő szál/mátrix adhézióban (apoláros mátrixnál) látják. Ugyan a szál/mátrix adhézió különféle kezelésekkkel javítható [3-5], ám ez általában költséges folyamat, és gyakran nem egyeztethető össze a természetes szálak környezetbarát jellegével [6]. Eichhorn és Young [7] hőre lágyuló mátrix helyett epoxigyantát használtak, és azt tapasztalták, hogy a kenderszál és az epoxigyanta között ugyanolyan jó adhézió lehet mindenféle kezelés nélkül, mint az üvegszál/epoxi rendszerekben. Ennek az a magyarázata, hogy poláros duroplaszt mátrix használata esetén kovalens és másodlagos kötések alakulhatnak ki, amik biztosítják a megfelelő adhéziót [8, 9]. A duroplaszt gyantáknak további előnye a termoplasztikus mátrixokkal szemben a relatív egyszerű impregnálás, a jobb mechanikai tulajdonságok és a nagyméretű alkatrészek egyszerű, olcsó gyártása. Egyetlen hátrányként a nehézkes újrahasznosítást szokták emlegetni. Ha a mátrix nem biodegradálható, akkor hiába lebomló a természetes szál, az életciklus végén csak a termikus hasznosítás (elégetés) jöhet szóba, ekkor azonban már ezek a gyanták nem károsabbak a környezetre nézve, mint a hőre lágyuló mátrixok [10].

A természetes szálakat polimerek erősítésére ma még szinte kizárólag rendezetlen szálakból álló paplan formájában használják. Ám ezzel alacsony szál tartalmat, kvázi-izotróp terméktulajdonságokat lehet csak elérni. Elvész az a lehetőség, hogy tudatos tervezéssel, méretezéssel, a szálak terhelésirányú elrendezésével nagy szál tartalmú, kis tömegű termékeket állítsanak elő.

Kutatásainkban az említett okok miatt a telítetlen poliészter gyantát választottuk mátrix anyagként. A cikk célja az azonos irányba rendezett (unidirekcionális) kenderszálakkal erősített kompozitok mechanikai jellemzőinek vizsgálata.

¹Közlésre elfogadva 2006. február 21-én.

* PhD hallgató, mezey@pt.bme.hu; ** akadémiai doktor, tanszékvezető, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Polimertechnika Tanszék

Anyagok és módszerek

A kenderszál ázott, nyújtott szalag, amely a Hungarohemp Kenderipari és Logisztikai Rt.-től származik. A mátrix Viopal VUP 4627 BEMT típusú, telítetlen poliésztergyanta (Novia Kft.), amely már tartalmaz 2% kobalt-naftenát gyorsítót. A katalizátor 1,5% metil-etil-ke-ton-peroxid (Butanox M 50) volt.

A próbatetekben az egyirányú szálelrendezés biztosítása érdekében nyitott végű sajtolószerszámokat készítettünk két különböző méretben, egy 10×300 mm-est a hajlító- valamint a Charpy-vizsgálatokhoz, és egy 20×300 mm-est a szakítóvizsgálatokhoz. A gyantával impregnált szálat párhuzamosan elrendeztük a szerszám nyílásában, felhelyeztük a szerszám felső részét, távtartókkal biztosítottuk a 4 mm-es vastagság elérését, és egy Schwabentan Polystat 300 S laborpréssel 10 bar nyomáson (munkahenger nyomása) tartottuk az anyagot a teljes kikeményedésig. A kompozitok névleges száltartalma 10-től 70 tömegszázalékgig (m/m%)

terjed, 10%-os lépésekben. Referenciaként az erősítetlen mátrix anyag szilikon-kaucsuk szerszámban készült.

A próbatetek szélessége és vastagsága, a gyártástechnológia sajátosságai és a poliészter gyantára jellemző zsugorodás miatt, kis mértékben eltért az ideális 4×10, illetve 4×20 mm-es mérettől. Emiatt a száltartalom eltért az elérni kívánt névleges száltartalomtól.

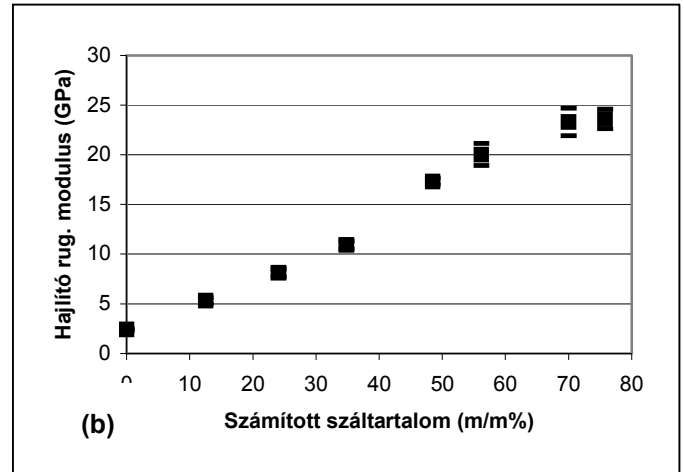
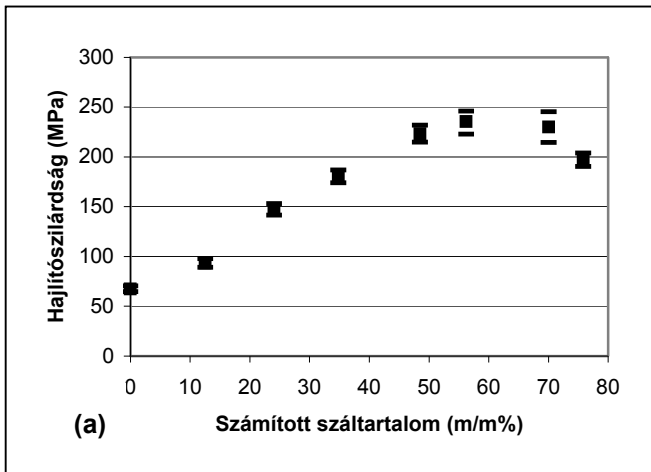
Hárompontos hajlítás

Az ISO 178-as szabvány alapján hárompontos hajlítóvizsgálatokat végeztünk szobahőmérsékleten, normál relatív páratartalom mellett, ahol az alátámasztás a névleges vastagság 16-szorosa, 64 mm volt. A terhelési sebesség 2 mm/perc volt. A vizsgálatok eredményei – a hajlító rugalmassági modulus (E_h) valamint a hajlítószilárdság (σ_h) – az 1. táblázatban és az 1. a, b ábrákon láthatóak.

	Száltartalom, m/m%							
	0	12,5	24,1	34,8	48,5	56,2	70,0	75,8
E_h (GPa)	2,4±0,1	5,3±0,3	8,1±0,4	10,9±0,4	17,3±0,3	20,0±1,1	23,3±1,4	23,6±1,0
σ_h (MPa)	67,4±2,8	93,3±4,3	147,2±5,9	180,3±6,5	223,1±8,5	235,3±10,5	229,9±15,4	197,1±6,7

1. táblázat. Különböző száltartalmú, kenderszállal erősített UP rugalmassági modulusa és hajlítószilárdsága

Table 1: Elastic modulus (E_h) and bending strengths (σ_h) of the UP reinforced by hemp fibres having different fibre content



1. ábra Kenderszállal erősített UP hajlítószilárdsága (a) és rugalmassági modulusa (b) a száltartalom függvényében
Fig. 1: The bending strength (a) and elastic modulus (b) vs. fibre content of the UP reinforced by hemp fibres

A hajlítószilárdság mintegy 55-65 m/m%-os szálarányig lassuló ütemben nő, majd ezen érték fölött csökkenni kezd. A hajlító rugalmassági modulus

értéke a vizsgálat szerint a száltartalommal mindvégig folyamatosan nő, eleinte gyorsuló, majd 40-45 m/m% fölött lassuló ütemben.

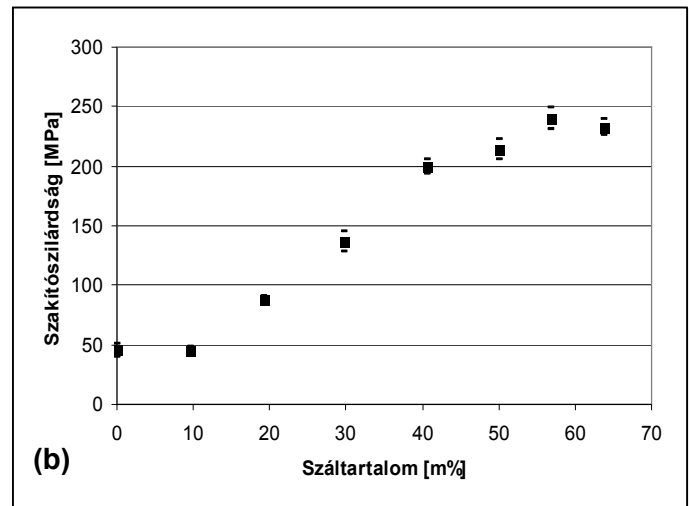
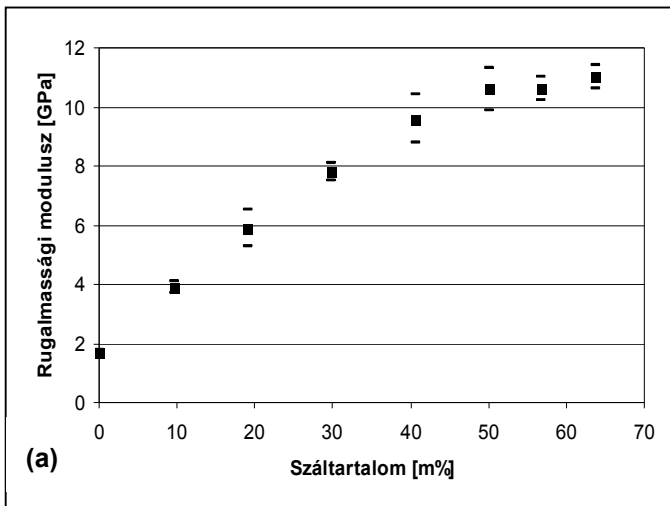
Szakítóvizsgálatok

Szakítóvizsgálatokat végeztünk a 20 mm széles kompozit rudakon az ISO 527-4:1999 szabvány

iránymutatása alapján szobahőmérsékleten, normál páratartalom mellett, 2 mm/perc terhelési sebességnél. A vizsgálatok eredményei – a húzó rugalmassági modulus (E_s) és a szakítószilárdság (σ_s) – a 2. táblázatban és 2. a,b ábrákon láthatóak.

	Száltartalom, m/m%							
	0	9,7	19,2	29,8	40,5	50,0	56,7	63,7
E_s [GPa]	1,7±0,1	3,9±0,2	5,9±0,6	7,8±0,3	9,6±0,8	10,6±0,7	10,6±0,4	11,0±0,4
σ_s [MPa]	45,5±5,2	44,4±3,6	87,8±3,5	136,5±8,2	200,0±6,0	214,3±8,1	240,0±9,2	232,7±7,3

2. táblázat. Különböző száltartalmú, kenderszállal erősített UP szakítószilárdsága és rugalmassági modulusa
Table 2: Elastic modulus (E_s) and tensile strengths (σ_s) of the UP reinforced by hemp fibres having different fibre content



2. ábra. Kenderszállal erősített UP szakítószilárdsága (a) és rugalmassági modulusa (b) a száltartalom függvényében
Fig. 2: The tensile strength (a) and elastic modulus (b) vs. fibre content of the UP reinforced by hemp fibres

A szakítószilárdság és húzó rugalmassági modulus 40 m/m%-os száltartalomig közel lineárisan nő a száltartalommal, de 40 m/m% száltartalomtól a növekedés üteme már csökkenő mindkét mechanikai jellemzőnél. A szakítószilárdság maximuma 55-60 % közötti száltartalomnál található, a rugalmassági modulus maximuma ennél egy kicsit magasabb értéknél – ám 50% fölött már nincs szignifikáns különbség.

Charpy-féle ütve hajlító vizsgálat

Az ISO 179-1:2000 (E) szabvány szerint ütve hajlító vizsgálatokat végeztünk szoba-

hőmérsékleten, normál páratartalomnál, egy oldalon bemetszett, 10×4×64 mm-es próbatesteken. Az alátámasztási távolság 40 mm volt. A 15 J-os kalapáccsal 90°-ról indítva ütöttük meg a próbatesteket, ami 8 J-os energiát, 2,7 m/s-os sebességet jelent.

Meghatároztuk a kritikus feszültségintenzitási tényezőt (K_{IC}), a fajlagos repedésterjesztési erőt (G_C) és a törési szilárdságot (a_{cN}) az (1-5) képletek segítségével [11]:

$$K_{IC} = \sigma_{\max} \cdot Y \cdot a^{1/2} \quad - \quad (1)$$

$$G_C = \frac{E_{\max}}{B \cdot W \cdot \phi} \quad - \quad (2)$$

$$a_{cN} = \frac{E_{teljes}}{B \cdot (W - a)} \quad - \quad (3)$$

$$Y^2 = 3.95 - 15.29\alpha + 89.83\alpha^2 - 210.67\alpha^3 + 224.84\alpha^4 \quad - \quad (4)$$

$$\phi = 4.16 - 60.53\alpha + 447.20\alpha^2 - 1780.07\alpha^3 + 3876.50\alpha^4 - 4345.1\alpha^5 + 1957.95\alpha^6 \quad (5)$$

Ahol:

Y (-) korrekciós faktor, kiszámítása a (4) szerint;
 φ (-) energia-kalibrációs faktor, a próbatestek L/W és az $\alpha = a/W$ geometriai méreteitől függ, kiszámítása az (5) szerint;

σ_{max} (MPa) a maximális feszültség;
 E_{max} (mJ) az erőmaximumhoz tartozó energia;

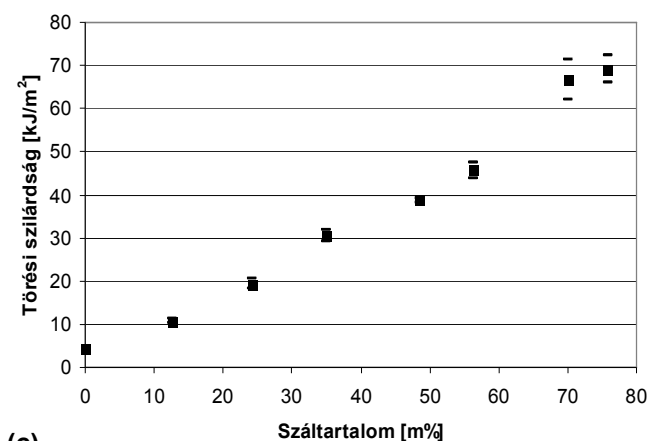
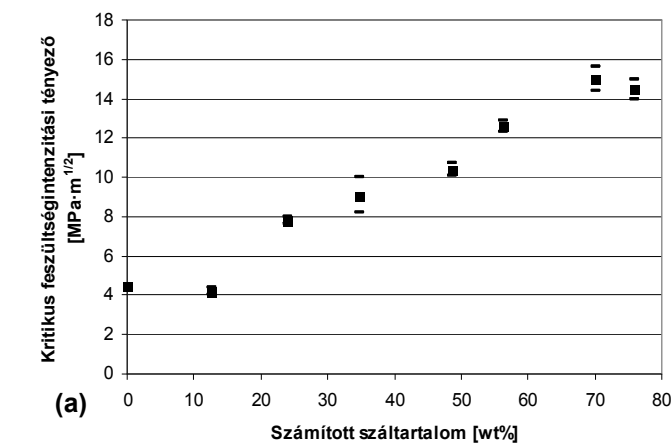
E_{teljes} (mJ) a törési energia;
 B (mm) a próbatest vastagsága;
 W (mm) a próbatest szélessége;
 a (mm) bemetszés hossza.

Az eredmények a 3. táblázatban és a 3. a,b,c ábrákon láthatóak.

	Száltartalom, m/m%							
	0	12,5	24,1	34,8	48,5	56,2	70,0	75,8
K_{IC} (MPa·m ^{1/2})	4,5±0,9	4,2±0,2	7,8±0,2	9,1±0,9	10,4±0,3	12,6±0,3	15,0±0,6	14,5±0,5
G_C (kJ/m ²)	7,8±0,9	8±0,2	18,4±0,9	24,8±6,8	31,5±1,8	42,8±4,7	57,4±2,1	41,5±6,1
a_{cN} (kJ/m ²)	4,4±0,1	10,7±0,5	19,4±1,2	30,5±1,4	38,7±0,5	45,7±1,8	66,8±4,7	69,2±3,2

3. táblázat. Kenderszállal erősített UP Charpy-féle ütve hajlító vizsgálattal meghatározott dinamikus törésmechanikai jellemzői

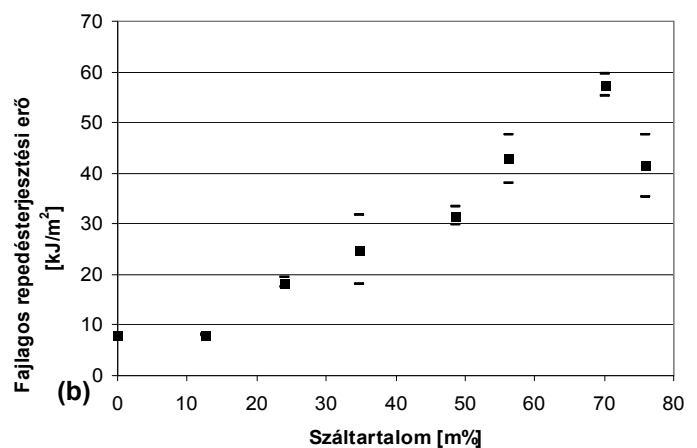
Table 3: The dynamic fracture mechanic properties determined by the Charpy impact test of the UP reinforced by hemp fibres having different fibre content



3. ábra. Kenderszállal erősített UP kritikus feszültségintenzitási tényezője (a), fajlagos repedésterjesztési ereje (b) és törési szilárdsága (c) a száltartalom függvényében

Fig. 3: The dynamic stress intensity parameter (a), the specific crack propagation force (b) and the fracture strength (c) vs. fibre content of the UP reinforced by hemp fibres

Az eredmények szerint a száltartalom növelése a törési szilárdság növekedését eredményezi. Ugyanakkor 70% feletti száltartalomnál a kritikus feszültségintenzitási tényező és a fajlagos repedésterjesztési erő is csökken. A kompozitok ez utóbbi két jellemzője csak 12,5% száltartalom felett nagyobb az erősítőlen alapanyagénál.



Összegzés

Összegzés

A kenderszállal kiváló erősítőanyag, amely alkalmas lehet az üvegszállal kiváltására kompozitok számos alkalmazásánál. A kender szilárdsága elmarad ugyan az üvegszállal szilárdságától, ám figyelembe véve, hogy a sűrűsége csak fele az üvegének, a belőle készült kompozit sűrűsége vonatkoztatott szilárdsága már versenyképes az üvegszállal kompozitokkal.

Megfelelő kenderszállal-tartalom esetén 1,2 g/cm³ sűrűséget és 230 MPa körüli szakító- és hajlítószilárdság értékeket mértünk, ami kiemelkedő eredménynek mondható.

Az elvégzett vizsgálatok alapján megállapítható, hogy az általunk használt technológiával készült kompozitok mechanikai jellemzők szempontjából optimális száltartalma 50-60 m/m%. Ennél nagyobb

száttartalom esetén mind a kvázistatikus, mind a dinamikus szilárdsági jellemzők visszaesnek. A hajlító és a húzó rugalmassági modulus a száttartalom növekedésével mindvégig emelkedik, de 50% száttartalom felett a növekedés lelassul.

A nagy száttartalmú kompozitok tulajdonságainak romlása a nem megfelelő impregnálás miatt következik be. Ezeknél az anyagoknál már szemmel is megfigyelhetők a száraz, nem kellően átitatott helyek. A természetes szálak nagy nedvességfelvétele miatt az ilyen részek különösen kritikusak lehetnek nedvességnek kitett alkatrészek esetében. A kompozitok nedvességfelvételének vizsgálata és a különböző nedvességtartalmú kompozitok mechanikai vizsgálata

további kutatásokat igényel. Megoldandó feladat továbbá olyan, azonos irányba rendezett természetes szálak előgyártmány készítése, amellyel lehetővé válna nagy száttartalmú termékek egyszerű, gazdaságos gyártása.

Köszönetnyilvánítás: A kutatást az Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok (OTKA K61424) és a Magyar-Kínai Kormányközi Tét együttműködés (Tét CHN-19/04) pályázata támogatta.

Irodalomjegyzék

- [1] M. Pervaiz, M. M. Sain: Carbon storage potential in natural fiber Composites. Resources, Conservation and Recycling 39 (2003) 325-340.
- [2] J. Gassan, A. K. Bledzki: Possibilities for improving the mechanical properties of jute/epoxycomposites by alkali treatment of fibres. Composites Science and Technology 59 (1999) 1303-1309.
- [3] S. Wong, R. Shanks, A. Hodzic: Interfacial improvements in poly(3-hydroxybutyrate)-flax fibre composites with hydrogen bonding additives. Composites Science and Technology 64 (2004) 1321-1330.
- [4] X. Yuan, K. Jayaraman, D. Bhattacharyya: Effects of plasma treatment in enhancing the performance of wood fibre-polypropylene composites. Composites: Part A 35 (2004) 1363-1374.
- [5] M. Z. Rong, M. Q. Zhang, Y. Liu, G. Ch. Yang, H. M. Zeng: The effect of fiber treatment on the mechanical properties of unidirectional sisal-reinforced epoxy composites. Composites Science and Technology 61 (2001) 1437-1447.
- [6] D. G. Hepworth, D. M. Bruce, J. F. Vincent, G. Jeronimidis: The manufacture and mechanical testing of thermosetting natural fibre composites. Journal of Materials Science. 35 (2000), 293-298.
- [7] S. J. Eichhorn, R. J. Young: Composite micromechanics of hemp fibres and epoxy resin microdroplets. Composites Science and Technology 64 (2004) 767-772.
- [8] D. G. Hepworth, D. M. Bruce, J. F. V. Vincent, G. Jeronimidis: The manufacture and mechanical testing of thermosetting natural fibre composites. Journal of Materials Science 35 (2000) 293-298.
- [9] S. Mishra, J. B. Naik, Y. P. Patil: The compatibilising effect of maleic anhydride on swelling and mechanical properties of plant-fiber-reinforced novolac composites. Composites Science and Technology 60 (2000) 1729-1735.
- [10] S. Goutianos, T. Eng, M. Skrifvars, T. Peijs: Development of Textile Reinforcements based on Flax Fibers for Structural Composite Applications. Proc. ICCM (2003), San Diego, USA.
- [11] J. G. Williams: Fracture Mechanics of Polymers, Ellis Horwood, New York, (1987), 61-89.