



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

**Gépészmérnöki Kar**

Polimertechnika Tanszék

Írta:

**Gombos Zoltán**

okleveles gépészmérnök

**ÜVEGSZÁLPAPLAN SZERKEZETÉNEK ELEMZÉSE ÉS  
HATÁSA A GYANTAFELVÉTELI FOLYAMATRA ÉS  
A KOMPOZIT JELLEMZŐIRE**

című témakörből,

amellyel a PhD fokozat elnyerésére pályázik

**BUDAPEST**

**2010**

A doktori disszertáció bírálata és a védésről készült jegyzőkönyv a  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Gépészmérnöki Karának Dékáni Hivatalában megtekinthetők

## **1. Bevezetés, az értekezés célja**

Napjaink korszerű szerkezeti anyagai a kompozitok, amelyeket egyre több területen és egyre nagyobb mennyiségben alkalmaznak. Az üvegszálerősítésű kompozitok gyártása Magyarországon már közel 40 éves múltra tekint vissza és az elmúlt 10-15 év folyamán egyre dinamikusabban fejlődik. A kompozit anyagok tipikusan nagy szilárdságú erősítőanyagból, valamint azok beágyazó szívós mátrixanyagból állnak. A két összetevő között kitűnő adhéziós kapcsolat szükséges, amely az igénybevétel magas szintjén is tartósan fennmarad. Az erősítés minősége nagyban függ az erősítőanyag impregnálhatóságától, ezért ennek elérése érdekében az erősítőanyagot a gyantával kellőképpen át kell tudni itatni. Az erősítőanyag átítatásának lehetőségét leginkább annak szerkezete, főként pórusméreteloszlása szabja meg. Az impregnálhatóság jellemzésére használatos paraméter az áteresztőképesség, azaz permeabilitás, melynek meghatározása és modellezése az erősítőanyag gyantával történő kitöltése során elsősorban vákuuminjektáló szerszámban jelenleg is kutatások tárgyát képezi.

A műszaki szálak, szálas rendszerek, szálerősítésű kompozitok szerkezetének, geometriai és szilárdsági tulajdonságainak kellő ismerete elengedhetetlen ahhoz, hogy a későbbiekben az ilyen szerkezetek megfelelő módon tervezhetőek legyenek. Ezen a területen végzett vizsgálatokat jelentősen megnehezíti, hogy a szálaknak, illetve a szálas rendszereknek mind a geometriája, mind a szilárdsága statisztikus jellegű, valamint hogy a kompozitban jelentős méretű szerkezeti hibák fordulhatnak elő, többek között ilyenek a különböző anyaghibák, légzárványok a mátrixanyagban. A kompozit termékek mechanikai tulajdonságait továbbá jelentős mértékben befolyásolja a szálas erősítőanyag és a mátrixanyag közötti adhéziós kapcsolat minősége, amely függ az erősítőanyag mátrixanyaggal történő átnedvesítésétől, azaz az impregnálás minőségétől. Szálas rendszerek esetében az egyedi szálak kollektív viselkedését is figyelembe kell venni, mivel a tapasztalatok szerint a szálkötegek egyfajta köztes építőelemként befolyásolják a szálas szerkezetek mechanikai viselkedését.

A kompozitok erősítőanyagai tipikusan szál jellegűek, mivel ebben az esetben az erősítés követheti az igénybevétel irányát. Ez az irányíthatóság lemezes, pl. rétegszilikátos erősítés esetén korlátozott. Erősítőszálként alkalmazástól függően azok kedvező mechanikai tulajdonsága és alacsony ára miatt leginkább üvegszálakat alkalmaznak. Ezen kívül szerves aramidszálakat, szénszálakat, esetleg bazaltszálakat,

vagy hibrid rendszerekben ezek különböző kombinációit használják. A hagyományos mesterséges polimer mátrixanyagok mellett, újabban megjelentek speciális esetekben alkalmazható lebomló mátrixanyagok is, amelyek erősítésére a szintén lebomló természetes növényi alapú szálak terjedtek el. Ezen kívül új és még feltáratlan terület a nanoszálak alkalmazása. A nanoszálak rendkívül jó mechanikai sajátosságokat hordoznak magukban, viszont ezen tulajdonságuk megfelelő kihasználása még nem megoldott. A felsorolt szálak erősítőanyagok közül a felhasznált mennyiséget tekintve a legnagyobb jelentőséggel az üvegszálak bírnak, ezért választottam az üvegszálak kutatásom során alapanyagként. Az üvegszálak legfőbb megjelenési formái a szálköteg (roving), a rovingszövet és a szálaplan. Nagy felületek, illetve laminált kompozit lapok kialakításánál erősítőanyagként, önállóan vagy üvegszövettel társítva, gyakran alkalmazzák a szabálytalan szerkezetű üvegszálaplanokat, mátrixanyagként pedig leginkább különböző telítetlen poliészter, esetleg epoxi vagy vinilészter gyantákat használnak fel. Ezen oknál fogva mátrixanyagként poliészter gyantát választottam.

A fentiek alapján a dolgozat célja az üvegszálaplanok szerkezeti vizsgálata a pórusméreteloszlás, az áteresztőképesség és a gyantafelvétel szempontjából, valamint a gyantafelvételi folyamat jellemzőinek vizsgálata és hatáselemzése az üvegszálaplan erősítésű kompozit lapok előállítására és tulajdonságai szempontjából.

## **2. A témához tartozó szakirodalom rövid elemzése**

A szálak erősítőanyagok egyik legfontosabb szerkezeti-geometriai tulajdonsága a szálkötegek orientációjából és ezáltal kialakuló fedetlen részekből adódó pórusméret eloszlás, aminek meghatározására és modellezésére több módszert is kidolgoztak. A direkt vizsgálati módszerek közé tartoznak a különféle szűrési és áteresztőképesség vizsgálatok, az indirekt érintésmentes vizsgálatok és a különféle képfeldolgozó eljárások. Már a pórusméret értelmezése sem egyértelmű feladat, ráadásul mind az indirekt, mind a direkt módszereknek megvannak a maguk pontatlanságai. A szálak rendszerek szerkezetét számos statisztikai modell segítségével próbálták minél pontosabban leírni, de ezek alkalmazhatóságát még nem minden esetben tudták alátámasztani mérési eredményekkel. A szakirodalmi adatok alapján jól látható, hogy számos kutató foglalkozik a szálak erősítőanyagok áteresztőképességével, főként a Darcy-féle összefüggésből kiindulva. Ezen tulajdonság nagyon fontos kompozitok gyártása során, mivel a nagyobb áteresztőképesség gyorsabb impregnálást tesz lehetővé.

Meghatározására pedig léteznek a szálak szerkezet geometriai tulajdonságait figyelembevevő és az áramlási paramétereket felhasználó leíró modellek. A szálak és a folyadék kölcsönhatását Kaptay, illetve Lukáš részletesen feltárták, míg szálak anyagok folyadékfelszívásának leírására a Lucas-Washburn egyenlet közelítő explicit megoldása ad jó közelítést. Kompozit szerkezetek esetén általában a gyantakitöltési folyamatot elemzik és nem vizsgálják a különböző (por és emulzió) kötőanyagú üvegszálpaplanok viselkedését és kompozitra gyakorolt hatását. Unidirekcionális szálak rendszerek mechanikai tulajdonságait leginkább Vas statisztikus szálköteg modellrendszere írja le, amelyet Vas kiterjesztett ferdeszálak esetre is, pl. szálpaplan mechanikai vizsgálatához, ezen alkalmazás esetén azonban még számos részlet kidolgozása szükséges.

Értekezésemben közel azonos felületi tömegű, különböző kötőanyagokkal rögzített vágott szálú üvegszálpaplanok szerkezeti, geometriai, áteresztési és folyadékfelvételi, mechanikai jellemzőit és azok különbségeit, valamint a vákuuminjektálási folyamat és az előállított kompozitjaik egyes tulajdonságaira gyakorolt hatásukat kívánom elemezni. Az említettek alapján a kitűzött kutatási feladatok pontokba szedve a következőképpen alakulnak:

1. Azonos felületi tömegű, de eltérő, por és emulziós kötőanyagú üvegszálpaplanok szerkezeti jellemzőinek meghatározása és a különbségek elemzése.
2. A pórusméretek optikai elvű mérési módszerének kidolgozása, a pórusméret eloszlás alkalmas leírásának meghatározása.
3. Az üvegszálpaplanok pórus tartalmának és a légáteresztőképesség kapcsolatának, valamint a rétegszám hatásának elemzése.
4. A vizsgálatokhoz használt telítetlen poliészter gyanta és az alkalmazott por- és emulziókötésű üvegszálpaplanok közötti felületi kölcsönhatás, továbbá az üvegszálpaplan síkjára merőleges, illetve annak síkjában történő gyantafelvétel kísérleti vizsgálata és elemzése.
5. Laminált kompozit minták előállításához vákuuminjektáló szerszám gyártása és technológia kidolgozása. A gyantafelvételi folyamat idő- és térbeli alakulásának tanulmányozása képfeldolgozáson alapuló mérőrendszer segítségével.
6. Az üvegszálpaplannal erősített kompozit lapok és szerkezeti elemeinek geometriai és szilárdsági vizsgálata. A por és emulziós kötőanyag hatásának vizsgálata a kompozit lapok tulajdonságaira.

### **3. A kutatómunka összefoglalása**

Értekezésemben üvegszálpaplanok pórusméret eloszlását, gyantafelvételi folyamatát, valamint a belőlük készült telítetlen poliészter mátrixú kompozit lapok szilárdsági tulajdonságait vizsgáltam. A kísérleti rész első fejezetében a vizsgálatok során felhasznált különböző típusú por- és emulziókötésű üvegszálpaplanok főbb adatait foglaltam össze, és leírtam az alkalmazott telítetlen poliészter gyanták típusait.

A második fejezet a választott üvegszálpaplanok szerkezeti tulajdonságainak különböző mérési módszerekkel történő meghatározását tartalmazza, elsősorban azok átlagos pórusméretére és eloszlására, valamint légáteresztőképességére vonatkozóan. A Vas-féle statisztikus szálpaplan modell segítségével a síkba vetített átmenő pórusokba írható körök átmérőjével és azok területekvivalens átmérőjével közelítve meghatároztam a különböző típusú minták pórusméreteloszlását, amelyek a mintákról készült felvételek képfeldolgozó rendszerrel kapott eredményeivel igen jó egyezést mutatnak. A légáteresztőképesség meghatározásához a minták síkjára merőleges irányban Shirley típusú készüléket, míg a minták síkjában radiális irányban egy vákuuminjektáló szerszámot szimuláló mérőrendszert alkalmaztam. A mérések során azt tapasztaltam, hogy az emulziókötésű üvegszálpaplanok légáteresztőképessége mindkét esetben nagyobb, mint a porkötésűeké. Ez azzal magyarázható, hogy az emulziós kötőanyag közel teljes mértékben befedi a szálkötegen belüli szálakat és így tömörebb szálkötegszerkezet, és ennek következtében nagyobb pórusok alakulhatnak ki, míg a poros kötőanyag csupán lokálisan van jelen a szálakon, amelyek lazán kapcsolódva alkotnak szálkötegeket, így a közöttük lévő pórusok is kisebbek.

A harmadik fejezetben az alkalmazott telítetlen poliészter gyanták fontosabb paramétereit határoztam meg, többek közt azok viszkozitását, felületi feszültségét, a különböző típusú üvegszálpaplanokkal bezárt peremszögeket, illetve egy adott gyantán a feldolgozhatóságot befolyásoló ún. gélesedési idő hőmérsékletfüggését. A vizsgált gyanták felületi feszültsége közel azonos értékre adódott, viszont a peremszögek a különböző gyártású üvegszálpaplanokat tekintve eltértek egymástól. A mérések során arra a következtetésre jutottam, hogy a tárolási és veszteségi nyírómodulusok metszéspontjával meghatározott idők és a gélesedési folyamat legintenzívebb pontjaként értelmezhető exoterm hőeffektus inflexiós pontjával azonosítható idők egymással arányosak.

A negyedik fejezet a különböző gyantafelvételi folyamatok elemzéséről szól. A vizsgálatokat egy kiválasztott injektáló poliészter gyantával végeztem el, mind az üvegszálpaplanok síkjára merőlegesen, mind azoknak síkjában. A folyamatokat mindkét esetben a Lucas-Washburn összefüggéssel közelítettem, minden esetben kevesebb, mint 5% relatív átlagos négyzetes hiba mellett. A gyantafelvétel előrehaladását vákuuminjektáló szerszámban történő kitöltés során is elemeztem. A szerszámba 4 réteg üvegszálpaplant helyeztem, majd injektáló gyantát 1,5% katalizátorral iniciálva 0,5 bar vákuum segítségével juttattam be. A kitöltési folyamatokat ebben az esetben is a Lucas-Washburn összefüggéssel közelítettem, amely szintén jó egyezést mutatott.

Az ötödik fejezetben az üvegszálpaplant felépítő elemi szálak és szálkötegek szakítófolyamatának elemzésével és modellezési lehetőségével foglalkozom. FiberSpace szoftver felhasználásával a szálkötegek mért szakítófolyamatai alapján azt kaptam, hogy az emulziókötésű szálkötegek rendezettsége jelentősen nagyobb a porkötésűeknél, ami a jobb kötőanyag mellett, javítja a szálszilárdság kihasználását.

A hatodik fejezetben az alkalmazott üvegszálpaplanokból készült kompozit lapok szakítóvizsgálatait hajtottam végre, majd a FiberSpace program segítségével ebben az esetben is közelítettem a szakítófolyamatot. Az eredményekből arra a következtetésre jutottam, hogy az emulzió- és porkötésű üvegszálpaplanokkal erősített kompozit lapok szilárdsága a modellben használt matematikai leírást alkalmazva jól közelíthető, előre tervezhető.

## 4. Új tudományos eredmények – tézisek

A dolgozatban ismertetett eredmények alapján az alábbi téziseket fogalmaztam meg [1-16].

### 1. tézis

Bizonyítottam, hogy a Vas-féle statisztikus szálpaplan modell pórussterületekbe írt körökre értelmezett átmérő eloszlása adaptálható a többretegű laminált szálpaplan szerkezetek optikai úton mért, átmenő pórusait leíró területekvivalens átmérők eloszlásának leírására, amelynek levezetésében egyúttal figyelembe vehető a képfeldolgozással detektálható minimális pórusugár is. A rétegszámot ( $n \geq 1$ , egész) és a detektálható minimális pórusugarat ( $r_{\min}$ ) is figyelembe vevő, úgy a pórusokba beírt körök, mint a pórussterület ekvivalens körök sugarára is alkalmazható pórusméreteloszlás ( $r \geq r_{\min}$ ):

$$F_{\rho}(r) = 1 - e^{-n\kappa \left[ 2(r-r_{\min}) \left( 1 + \frac{\bar{b}\pi}{2\bar{l}} + \frac{r_{\min}\pi}{\bar{l}} \right) \bar{l} + (r-r_{\min})^2 \pi \right]} \quad (T1)$$

ahol  $\kappa$  [ $1/\text{mm}^2$ ] a rostközéppontok átlagos területi sűrűsége,  $\bar{l}$  és  $\bar{b}$  az üvegrostok átlagos hossza és szélessége. A területekvivalens pórusátmérők alkalmazása, a mért eloszlások közelítésénél, a vizsgált egyrétegű por- és emulziós kötésű üvegszálpaplan mintáknál együttesen 1,2...9,5-szer kisebb átlagos négyzetes relatív eltérést eredményezett a beírt körös közelítéshez képest. Ezen kívül területekvivalens közelítésnél az emulziós kötőanyag esetén 0,8...5,0%-al jobb illesztés kapható, szemben a porkötésű mintákkal, ami az előbbi szálkötegein belüli nagyobb rendezettséggel magyarázható.

### 2. tézis

A vizsgált azonos felületi tömegű (névlegesen  $450 \text{ g/m}^2$ ), különböző gyártmányú emulziós és porkötésű üvegszálpaplanok pórusméreteket illetően optikai mikroszkóppal és képfeldolgozó eljárással kimutattam, hogy miközben az átlagos pórusméreteik között csupán 1...5% relatív eltérés tapasztalható, azonban az emulziókötésűek esetén a maximális pórusméretek átlagértékei  $60...210 \mu\text{m}$ -el, valamint azok maximuma  $37...212 \mu\text{m}$ -el nagyobbak, mint a porkötésűek esetén. Az utóbbit a buborékos vizsgálatok is megerősítették. Az elektromikroszkópos vizsgálatok szerint ezek alapvető



oka az, hogy az emulziós kötőanyag közel teljes mértékben egyenletesen befedi a szálkötegen belüli szálakat és így tömörebb szálkötegszerkezet, és ennek következtében nagyobb pórusok alakulhatnak ki, míg a poros kötőanyag csupán lokálisan van jelen a szálakon, amelyek lazán, térfogatosan kapcsolódva alkotnak szálkötegeket, így a közöttük lévő pórusok is kisebbek.

### **3. tézis**

Kidolgoztam egy, a képfeldolgozással detektálható átmenő pórusokat, mint szűkítő peremeket és az ilyen módon nem érzékelhető pórusláncok alkotta kapillárisokat külön kezelő elméleti összefüggést az egy- és többrétegű üvegszálpaplanok síkjára merőleges légáteresztési tényezőjének számítására, amely az  $1/\sqrt{\Delta p}$  ( $\Delta p$  nyomáskülönbségtől függő) változó harmadfokú polinomjával közelíthető. Az összefüggés harmadfokú polinom alakjának a mérési adatokhoz való illesztéséből és az együtthatók elemzéséből a következők voltak megállapíthatók:

- a) Mérések alapján kimutattam, hogy a pórusoknak a kapillárisokat is magába foglaló, teljes átáramlási keresztmetszethez viszonyított aránya mind az emulziós, mind a poros típusú szálpaplanoknál hiperbolikusan csökken a rétegszám növelésével, ahol az illesztésnél  $R^2=0,96\dots0,98$  értékek adódtak.
- b) Mérésekkel kimutattam, hogy a pórusok területének aránya a rétegszám növelésével csökken, miközben a kapillárisok keresztmetszeti területének aránya nő. A pórusokon keletkező nyomásesések kissé növekednek a rétegszám növekedésével, ami szűkülő pórusoknak felel meg, míg a kapillárisokon létrejövő nyomásesések csökkenést mutatnak, ami a nem látható átmenő pórusok számának és így az átlagos kapillárisméretek növekedésére utal.

### **4. tézis**

Kidolgoztam egy, az üvegszálpaplan síkjára merőleges folyadékfelszívási képesség vizsgálatára alkalmas, univerzális szakítógéphez kifejlesztett készüléket és periódikus bemenítésen alapuló mérési és kiértékelési módszert, amellyel szálak szerkezetek gyantafelvételi folyamata jól meghatározható és lehetővé teszi hasonló típusú minták összehasonlítását. A mérési módszer elve jól alkalmazható különféle porózus anyagok esetén más alkalmazási területeken is.

## 5. tézis

Bebizonyítottam, hogy a Lucas-Washburn-féle egyenlet közelítő explicit megoldása jól használható a vizsgált azonos felületi tömegű (névlegesen  $450 \text{ g/m}^2$ ) por- és emulziókötésű üvegszálpaplanok különböző módon meghatározott gyantafelvételi folyamatának leírására. Az üvegszálpaplan lapjára merőlegesen, illetve a lapja mentén mérőkészülékekben, továbbá vákuuminjektáló szerszámban meghatározott mért és a közelített gyantafelvételi folyamatok közötti relatív átlagos négyzetes eltérések értékei minden esetben 4,9%-nál kisebbre adódtak, ahol minden esetben  $p=1,5$  értékű görbeillesztési paraméter volt alkalmazható.

- a) Kimutattam, hogy a spontán gyantakitöltési folyamat intenzitása mind az üvegszálpaplan síkjában, mind arra merőlegesen a pórusméretek növekedésével csökken, mivel ekkor a szerkezetbe történő beszívódási folyamat mozgatója, a kapillárishatás szintén csökken. A gyantafelszívási intenzitás értékek porkötésű esetben hasonló csökkenő tendenciát mutatnak a minták síkjában és arra merőlegesen is, viszont emulziós kötőanyagnál a síkra merőleges felszívásnál lényegesen alacsonyabb értékek adódtak a pórusméretek növekedésével.
- b) Mérésekkel igazoltam, hogy vákuuminjektáló szerszámban a nyomáskülönbség hatására történő kitöltés intenzitásértékei az átlagos pórusátmérőkkel ( $R^2=0,88$ ), maximális pórusátmérők átlagával ( $R^2=0,99$ ) és azok maximumával ( $R^2=0,95$ ) lineárisan növekszik, illetve a poros és emulziós kötésű paplanok esetében mért értékek ugyanazon egyenesre esnek. Ez azzal magyarázható, hogy a nyomáskülönbség hatására történő kitöltés során a nagyobb pórusokat tartalmazó szerkezetnek kisebb az ellenállása.

## 6. tézis

Kimutattam, hogy az üvegszálpaplanokból kivett üvegszálkötegek és azokat felépítő E típusú elemi üvegszálak, valamint az üvegszálpaplanokkal erősített, vákuuminjektáló szerszámban gyártott kompozit lapok mért szakítófolyamatára az E (ideális helyzetű és befogású szálak), EH (hullámos szálak), ES (kicsúszó szálak) és ET (ferde szálak) típusú kötegeket alkalmazó FiberSpace szoftverrel készített szálkötegcella-modellek alapján a következő megállapítások és összefüggések érvényesek:

- a) Az elvégzett szakítóvizsgálatok alapján megállapítható, hogy a szálkötegen belül az emulziókötés jobb összetartást biztosít a porosnál (az emulziókötésű szálkötegek egy szála vonatkoztatott szakítóereje átlagosan 16%-kal nagyobb a

porosénál), ugyanakkor az emulziókötésű szálkötegeken belüli együttdolgozás olyan nagymértékű, hogy a szálszakítószilárdság kihasználásuk 8,9%-kal nagyobb az ideálisan befogott és statisztikusan független egyedi szálak alkotta szálkötegénél, míg a porosé 6,7%-al kisebb.

- b) A szálkötegcella modellek alapján kimutattam, hogy az üvegrostok, mint szálkötegek mért szakítófolyamatai porkötéses minták esetén 10% E, 29% EH, 24% ES és 37% ET típusú kötegek, míg az emulziókötésű minták esetén 50% E, 5% EH, 25% ES és 20% ET típusú kötegek párhuzamos kapcsolásával modellezhetők, 1% körüli relatív átlagos négyzetes eltérés mellett mindkét esetben. Ennek alapján megállapítható, hogy az emulziókötésű szálkötegek rendezettsége (40%-al több ideális szál, 24%-al kevesebb hullámos és 17%-al kevesebb ferde szál) jelentősen nagyobb a porkötésű paplanoknál, ami a jobb kötőanyag mellett, javítja a szálszilárdság kihasználását.
- c) Szakítóvizsgálatokkal kimutattam, hogy a kompozit lapok és a szálpaplanból kivett szálkötegek szakadási nyúlásai hasonló értékeket vesznek fel, azaz a kompozit lapok szakadási nyúlását lényegében a szálkötegek, mint köztes elemek szakadási nyúlása határozza meg. A kompozit lapok átlagos húzófeszültség folyamatai elemzése alapján megállapítható volt, hogy az emulziós szálpaplanokkal erősített lapok nagyobb nyúlásnál (2,0...2,5%) mentek tönkre, mint a porkötésű szálpaplanokkal erősítettek (1,6...2,1%), s hasonlóképpen az emulziókötésű szálkötegek 2,1...3,1%, míg a porkötésűek 1,7...2,7% szakadási nyúlásértékeknél mentek tönkre. A kompozit lapok átlagos húzófeszültség folyamatainak szálkötegcella-modelljei alapján megállapítható volt, hogy az emulziókötésű (1,9% E, 3,2% EH, 31,6% ES, 63,3% ET), illetve porkötésű (1,2% E, 6,1% EH, 33,9% ES, 58,8% ET) üvegszálpaplanokkal erősített lapok összehasonlítva közel azonos arányú E, EH, ES és ET köteget tartalmaznak és mindkét esetben a paplan szerkezetének megfelelően a ferdeszálás ET kötegek aránya dominál.

## 5. Az értekezés témaköréből készült közlemények jegyzéke

- [1] Nagy V., Vas L.M., **Gombos Z.**: Liquid Absorbency of Polyester Yarns, 21th Danubia – Adria Symposium on Experimental Methods in Solid Mechanics, Brijuni/Pula, Croatia Sept 29-Oct 2 (2004) 74-75.
- [2] **Gombos Z.**, Vas L.M., Gaál J.: Gyantafelvételi folyamat vizsgálata és kiértékelése, Anyagvizsgálók Lapja 15 (2005) 97-99.
- [3] **Gombos Z.**, Vas L.M.: Üvegszálpaplanok pórusméretének meghatározása a statisztikus szálpaplan modell alapján, Magyar Textiltechnika 58 (2005) 89-91.
- [4] **Gombos Z.**, Nagy V., Vas L.M., Gaál J.: Investigation of Pore Size and resin Absorbency in Chopped Strand Mats, Periodica Polytechnica, Ser. Mech. Eng. 49 (2005) 131–148.
- [5] **Gombos Z.**, Nagy V., Košťáková E., Vas L.M.: Resin Absorbency in Glass Fiber Mats, 5th International IN-TECH-ED Conference in Budapest, Hungary, 07-09. September (2005) Proceedings, 472-479.
- [6] **Gombos Z.**, Nagy V., Košťáková E., Vas L.M.: Vertical Resin Absorption in Glass Fiber Nonwoven Mats, 8th International Symposium Polymers for Advanced Technologies, Budapest, Hungary, 13-16 September (2005).
- [7] Török P., **Gombos Z.**, Vas L.M.: Gélesedési pont meghatározása telítetlen poliészter gyanta exoterm hőeffektusából, Anyagvizsgálók Lapja 16 (2006) 14-18.
- [8] **Gombos Z.**, Nagy V., Košťáková E., Vas L.M.: Absorbency Behaviour of Vertically Positioned Nonwoven Glass Fiber Mats in Case of Two Different Resin Viscosities, Macromolecular Symposia 239 (2006) 227–231, IF=0,913.
- [9] Meggyes G., **Gombos Z.**, Vas L.M.: Analysing the orientation and size effect of composite sheets in tensile tests, GÉPÉSZET 2006 Konferencia, Budapest, Hungary, 25-26 May (2006) Proceedings (CD-Full-text) ISBN 963 593 465 3.
- [10] **Gombos Z.**, Vas L.M.: Temperature dependence of resin absorption of various chopped strand mats, GÉPÉSZET 2006 Konferencia, Budapest, Hungary, 25-26 May (2006) Proceedings (CD-Full-text) ISBN 963 593 465 3.
- [11] Török P., **Gombos Z.**, Vas L.M.: The effect of curing temperature upon the mechanical properties of unsaturated polyester resin, GÉPÉSZET 2006 Konferencia, Budapest, Hungary, 25-26 May (2006) Proceedings (CD-Full-text) ISBN 963 593 465 3.

- [12] Gyivicsán P., **Gombos Z.**, Vas L.M.: Üvegszálpaplanok pórusméret eloszlásának vizsgálata képfeldolgozó rendszer segítségével, Magyar Textiltechnika 59 (2006) 146-149.
- [13] **Gombos Z.**, Vas L.M.: Structure and permeability properties of glass fiber mats, IV International Materials Symposium Materials 2007, Porto, Portugal, 1-4 April (2007).
- [14] **Gombos Z.**, Vas L.M., Hrůza J.: The Effect of Number of Layers on Air Permeability in case of Glass Fiber Mats, 3rd China-Europe Symposium, Budapest, június 11-15 (2007).
- [15] Molnár K., **Gombos Z.**, Vas L.M.: Testing and Modeling the Tensile Strength Behavior of Glass Fibers, Fiber Bundles and Fiber Mat, Materials Science Forum 589 (2008) 227-232.
- [16] Molnár K., **Gombos Z.**, Vas L.M.: Testing and Modeling the Tensile Behavior of Fiber Bundles of Differently Bonded Glass Fiber Mats, GÉPÉSZET 2008 Konferencia, Budapest, Hungary, 29-30 May (2008).