



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Gépészmérnöki Kar

Polimertechnika Tanszék

Bazaltszövettel erősített polimer mátrixú kompozitok fejlesztése

TÉZISFÜZET

Tamás Péter

okleveles gépészmérnök

Témavezető

Dr. Czigány Tibor

egyetemi tanár

Budapest

2013

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

1. Bevezetés

Életminőségünket jelentősen befolyásolják a bennünket körülvevő anyagok. Századunk a szintetikus anyagok korszaka, ahol fejlődő társadalmunk és iparunk egyre újabb és újabb anyagokat igényel. A fosszilis energiahordozók mennyiségének csökkenésével egyre inkább előtérbe kerül a megújuló energiaforrások használata és az ezekhez szükséges anyagok fejlesztése is. A korszerű műszaki anyagtudomány három alapvető csoportra, a fémek, a polimerek és a kerámiák családjára osztja a mérnöki anyagokat. Ezek kombinált, társított rendszerei a kompozitok, amelyek egyesítik az egyes összetevők előnyös tulajdonságait. A kompozitok olyan szerkezeti anyagok, amelyekben a nagyszilárdságú erősítőanyag és a szivós mátrix között erős adhéziós kapcsolat van, amely a deformáció, az igénybevétel nagy szintjén is tartósan fennmarad. A kompozitok nagy előnye, hogy alkalmazásukkal olyan tulajdonságok is elérhetők, amelyekkel a komponensek külön-külön nem rendelkeznek. A polimer kompozitok legelterjedtebb erősítőanyagai az üvegszál, a szénszál, valamint az aramidyszál, azonban egyre inkább teret hódítanak a természetes szálakkal erősített kompozitok is. Mindössze az utóbbi két évtizedben került előtérbe a bazaltszál, mint a polimer kompozitok lehetséges erősítőanyaga. A bazalt egy, a természetben sok helyütt megtalálható kőzetfajta, amely közvetlenül alkalmas szálgyártásra. Kémiai szerkezetét és tulajdonságait tekintve nagyon hasonló az üvegszálhoz. Régóta ismert, hogy a bazalt teljes egészében bioinert, nem káros az élő szervezetekre. Kiváló mechanikai tulajdonságai, hő- és vegyszerállósága miatt, jó alternatívája lehet az azbesztnak és az üvegszálnak is. Folytonos bazaltszálak előállításával jellemzően Oroszországban, Ukrajnában és Izraelben foglalkoznak, azonban egyre inkább szaporodnak a különböző típusú bazaltszálak gyártásával foglalkozó üzemek Kína területén és a nyugati országokban is. A polimer kompozitoknál is bizonyos esetben különleges igények merülhetnek fel, amelyeket az egyes előnyös tulajdonságok társításával érhetünk el. Ennek egyik legkézenfekvőbb módja az erősítőanyagok társítása, hibridizálása. Jelenleg a szén/üvegszál hibridkompozitok a legelterjedtebbek, mivel az üvegszál társításával egyrészt jelentősen csökkenthető a szénszál kompozitok ára, másrészt nagymértékben javítható a szénszál kompozit szivóssága és ütésállósága. A bazalt- és az üvegszál hasonlósága miatt könnyedén kiváltható lenne az üvegszál bazaltszállal.

Kutatásom során bazaltszövettel erősített mono- és hibridkompozitok fejlesztését és egymással történő összehasonlítását, továbbá mechanikai, ciklikus terhelési és fizikai jellemzőinek meghatározását tűztem ki célul. Mindezeket mellett céлом volt a hibridszálás

kompozitok esetében az esetleges szinergetikus hatások feltárása és ezek kihasználása a kompozit termékekben, valamint a lehetséges alkalmazási területek szélesítése, kiváltképpen a megújuló energiaforrások területén (szél- és ár-apály erőművek).

2. A szakirodalom rövid áttekintése, az értekezés célja

A szakirodalom áttekintése alapján az elmúlt másfél évtizedben világszerte megnőtt a folytonos bazaltszálak és az abból készült termékek iránti kereslet és érdeklődés, annak ellenére, hogy a bazaltszál, mint lehetséges kompozit erősítőanyag csak 1980-ban került be a köztudatba. Napjainkban a folytonos bazaltszálak kompozit erősítőanyagként való felhasználása sok esetben kísérleti fázisban tart, ugyanakkor néhány ilyen alapanyagú termék már jelen van a piacon. A szakirodalomban bazaltszálakkal erősített kompozitokkal sok kutató foglalkozik, ami ugyancsak azt mutatja, hogy a bazaltszálban, mint kompozit erősítőanyagban nagy lehetőségek rejlenek.

A szakirodalom szerint a szálerősített mono- és hibridkompozitok felhasználása tekintetében a legfrekvenciáltabb energiacsoport a szélenergia, amelynek kihasználása folyamatosan emelkedő tendenciát mutat. Az egyes mozgó energiatermelő egységek hatásfokának növelése legegyszerűbben tömegcsökkentéssel érhető el, amelyre a polimer mátrixú kompozitok kiválóan alkalmasak. A szélerőműveket a szélenergia jobb kihasználása érdekében a szárazföldről távolabb a tengerben helyezik el úgy, hogy az egyes erőművek a tengerfenékhez vannak horgonyozva (off-shore rendszer). Az off-shore szélerőművek jelentős környezeti hatásoknak vannak kitéve, ezek a nagy hőmérséklet-ingadozás, az erős szél, a villámcsapás, a sós-vizes környezet, valamint az ütősszerű és fárasztó jellegű, ciklikus mechanikai igénybevételek. Ezeknek az igénybevételeknek az egyes erősítőanyagok a legritkább esetben képesek ellenállni, egymással társítva, hibridizálva azonban már az összetett igénybevételekkel szemben is eredményesen alkalmazhatóak. A legfrissebb kutatásokban jellemzően térhálós mátrixanyagú mono- és hibridkompozitok szélerőművekben történő alkalmazhatóságát vizsgálják, ahol az egyik erősítőanyag általában szénszövet, a másik pedig az üvegszövet. Az üvegszövet off-shore szélerőművekben történő alkalmazásával kapcsolatban azonban felmerülnek problémák, mivel a sós-víz, valamint az UV sugárzás hatására az üvegszövet, valamint kompozitjaik jelentős szilárdságromlást szenvednek el. A bazaltszál az üvegszállal szemben sokkal ellenállóbb agresszívebb

környezetben, köszönhetően a bazaltot felépítő kémiai elemeknek így a tengeri szélérőművek területén is alkalmazható lenne, ahol az üvegszál - az extrém körülmények miatt – nem ajánlott.

Mindezek mellett a bazaltszövettel erősített mono- és hibridkompozitokat elemző szakirodalom nagyon szegényes és a méretezési, valamint gyártási elveik sem kidolgozottak, azonban – a bazaltszövet az üvegszövethez hasonló tulajdonságai miatt – a hibrid bazaltszálalás kutatási témák térnyerése prognosztizálható.

A fentiek alapján az értekezésem célja:

- térhálós mátrixú bazalt-, üveg- és szénszálalás mono- és hibridkompozitok előállítás, tulajdonságaik vizsgálata és összehasonlítása, valamint a rétegek közötti nyírószilárdság javítása töltőanyagokkal.
- vizsgálni a hőmérséklet hatását a bazaltszövetre, valamint a bazaltszövettel erősített polimer mátrixú mono- és hibridkompozitok mechanikai tulajdonságaira, fizikai jellemzőire.
- feltérképezni a bazaltszövet mechanikai tulajdonságainak változását a környezeti hatások függvényében, különös tekintettel az UV sugárzás hatásaira.
- vizsgálni a sós-vizes környezetben a bazaltszövet, illetve a felhasználásával készült kompozit mechanikai tulajdonságainak változását a tartózkodási idő és az oldat koncentráció függvényében.
- megvizsgálni a bazaltszövettel erősített mono- és hibridkompozitok villamos szigetelő-, valamint elektromágneses árnyékoló-képességét.
- a bazaltszövettel erősített mono- és hibridkompozitok viselkedésének elemzése ciklikus húzó, valamint hajlító igénybevételek hatására, kis ciklusszám és nagy elmozdulások mellett, majd az eredmények alapján összefüggések felállítása.

3. Alkalmazott anyagok, technológiák és vizsgálati módszerek

3.1. Felhasznált anyagok

Mátrixanyag

Az értekezésem során az IpoX Chemicals Kft. által készített MH3009 típusú biszfenol-A típusú általános célú lamináló epoxi gyantát ("A" komponens) alkalmaztam MH3120 típusú aminos térhálósítóval ("B" komponens), amelyek keverési aránya 100:20 volt. A komponensek tökéletes elegyedését kétféle keveréssel biztosítottam. Az első lépésben a két összetevőt 5000 fordulat/perc fordulatszámú elektromos keverővel 3 percig kevertem

szobahőmérsékleten, majd 2 percig pihentettem a keveréket, ezután megismételtem az első lépést. A gyártás során minden esetben a gyártó által javasolt 4 órás, 60°C-on történő utótérhálósító hőkezelést alkalmaztam légcirkulációs szárítószekrényben.

Erősítőanyagok

Értekezésem során különböző – üveg-, bazalt- és szénszálból készült – roving és szövet formájú erősítőanyagokat használtam fel. A különböző erősítőanyag-típusokat az indokolta, hogy így összehasonlítható az erősítőanyag struktúrák hatása a mechanikai tulajdonságokra. A rovingok kiválasztásánál a legfőbb szempont az azonos lineáris sűrűség, valamint előnyös felületkezelés (epoxi gyantához illeszkedő) volt. A szál formájú erősítőanyagok közül 3 különböző gyártó (üveg roving - Owens Corning, bazalt roving - Kamenny Vek, szén roving - Zoltek) 3600 tex lineáris sűrűségű anyagait választottam. Az erősítőszövetek kiválasztásánál ugyancsak figyelembe vettem az erősítőszövetek felületkezelését (epoxi gyantához) és az anyagok területi sűrűségét (220 g/m²) és szövési formáját (vászon). A kiválasztott szövetek (üveg szövet - Saint-Gobain Vetrotex, bazalt szövet - Basaltex, szén szövet - SGL Group) mechanikai tulajdonságai lác- és vetülékirányban is megegyeznek.

Töltőanyagok

Értekezésem során különböző méretű és típusú töltőanyagokat használtam fel, amelyeket a rétegek közötti nyírószilárdság javítására használtam. A BT C150HP típusú többfalú szénnanocsövet a Bayer AG-től, a Grade M típusú lemezes szerkezetű grafént az XG Science Inc-től szereztem be. Az őrlött bazaltport golyós őrlőmalom felhasználásával készítettem el Basaltex BAS 1500 típusú bazaltszálból.

3.2. A kompozitok készítésének technológiája

A kompozit lemezek készítéséhez az erősítőstruktúrától függetlenül – az iparban leggyakrabban alkalmazott, legegyszerűbb technológiát – a kézi laminálást használtam. A laminálás során minden egyes réteg átimpregnálása után kigörgöztem a szövetből a légbuborékokat és ezzel eltávolítottam a felesleges gyantát is. A kompozit lemezeket váltakozó rétegrendű erősítőanyagok egymásra helyezésével készítettem el, minden esetben 6 réteg felhasználásával. Az elkészített anyagokat a könnyebb azonosíthatóság érdekében rövidített elnevezéssel láttam el, ahol a GFEP az üveg-, a BFEP a bazalt-, a CFEP a szén-, a

GFCFEP az üveg-szén-, a BFCFEP a bazalt-szénszállal erősített epoxi gyanta alapú kompozitot jelenti.

3.3. Alkalmazott anyagvizsgálati módszerek

Az alkalmazott vizsgálatokat – kivéve a hőmérséklet hatását – szobahőmérsékleten ($25\pm 3^\circ\text{C}$), $40\pm 5\%$ relatív páratartalom mellett hajtottam végre.

Elemi szálak szakítóvizsgálata

A kísérletek során felhasznált szálak geometriai jellemzőit Olympus BX51 típusú szálvizsgáló képfeldolgozó rendszer segítségével határoztam meg. A szálakat a JIS R 7601 Japán szabvány szerint készítettem elő és egy ZWICK Z005 típusú számítógép-vezérlésű univerzális szakítógéppel szakítottam el.

Rovingok szakítóvizsgálata

A rovingok vizsgálatát ISO 9163 szabvány ajánlása szerint végeztem el egy Zwick Z020 típusú számítógép-vezérlésű univerzális szakítógéppel. A rovingok, valamint az elemi szálak átmérőjét Olympus BX-51 optikai mikroszkóppal határoztam meg.

Erősítőszövetek szakítóvizsgálata

Az erősítőszövetek vizsgálatát MSZ EN ISO 13934-1:2000 szabvány szerint végeztem el, egy Zwick Z020 típusú számítógép-vezérlésű univerzális szakítógéppel, sávszakító vizsgálatokkal.

Húzóvizsgálat

A kompozitok húzóvizsgálatát az MSZ EN ISO 527-4:1999 szabvány alapján, ZWICK Z020 típusú szakítógépen végeztem. Az eredmények pontosabbá tételéhez a mérés során a nyúlás méréséhez videoextenzométert is használtam.

Hajlítóvizsgálat

A kompozitok hárompontos hajlítóvizsgálatait az MSZ EN ISO 14125:1999 szabvány szerint ZWICK Z020 típusú szakítógépen végeztem el.

Rétegeközi nyíróvizsgálat

A húzó elrendezésű rétegeközi nyíróvizsgálatokat (Interlaminar Shear Strength - ILSS) a kompozitokon Zwick Z020 típusú univerzális szakítógéppel hajtottam végre ASTM D3846-94 szabvány szerint.

Ütvehajlító vizsgálat

A Charpy-féle ütvehajlító vizsgálatot az MSZ EN ISO 179 szabvány alapján végeztem el, egy DAS 8000 adatgyűjtővel felszerelt CEAST Resil Impactor Junior típusú ütőmű alkalmazásával.

SEN-T vizsgálat

A kvázi statikus törésmechanikai vizsgálatokhoz egy oldalon bemetszett szakító (SEN-T) próbatesteket alkalmaztam, a vizsgálatokat ASTM E399 szabvány ajánlottakat figyelembe véve hajtottam végre egy Zwick Z020 típusú univerzális szakítógéppel.

Akusztikus emisszió (AE) vizsgálat

Méréseimhez egy négycsatornás, SENSOPHONE AED-40/12 típusú berendezést használtam. A hanghullámok detektálásához piezoelektromos elven működő, A-11 típusú mikrofont erősítettem a SEN-T próbatestekre.

Elektromos vezetőképesség vizsgálatok

Az általam készített kompozit anyagok vezetőképességének (felületi és térfogati ellenállásának) vizsgálatát MSZ EN ISO 1149-1 szabvány alapján végeztem Hewlett Packard High Resistance Meter 4339B típusú multiméter segítségével egy három elektródát tartalmazó gyűrű alakú mérőfej felhasználásával, egyenárammal. A felületi ellenállás meghatározása során a feszültségmérő a belső kör elektródára és a gyűrűelektródára volt kapcsolva, illetve a térfogati ellenállás mérésénél a belső kör elektródára és a segédelektródára. Az elektromágneses árnyékoló-képesség meghatározását ASTM D4935 szabvány alapján hajtottam végre.

Termogravimetriai vizsgálatok

A termogravimetriai vizsgálatok SETARAM Labsys TG DTA/DSC típusú készülékkel történtek. A mérés során inert (nitrogén), illetve oxidatív (levegő) atmoszférában vizsgáltam a minták tömegváltozását az idő és a hőmérséklet függvényében, aminek köszönhetően megállapíthatóak az anyagra átmeneti változást gyakorló hőmérsékletek. A vizsgálatok során alkalmazott öblítőgáz térfogatárama 60 ml/perc volt. A hőmérsékletprogramot úgy állítottam be, hogy a berendezés az első 1 percben szobahőmérsékleten izoterm állapotot tartson fenn, majd a következő szakaszban egyenletes, 20°C/perc felfűtési sebességgel érje el a maximum (1200°C) hőmérsékletet.

Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópiai (FT-IR) vizsgálatok

Az FT-IR méréseket egy Perkin Elmer Spectrum 400 típusú berendezésen hajtottam végre reflexiós üzemmódban. A berendezésben található fényforrás egy közép és távoli IR tartományban sugárzó, hosszú életű fényforrás, amely lehetővé teszi a vizsgálatokat a 4000-650 cm⁻¹ (2500-15385 nm) hullámhossz tartományban.

Ultraibolya (UV) spektroszkópiai vizsgálatok

Az UV spektroszkópiai vizsgálatokat egy Hewlett Packard 8452A típusú diódasoros detektorral ellátott spektrométerrel végeztem el abszorpciós üzemmódban. A berendezés 190-820 nm hullámhossz-tartományban üzemelő látható UV fényforrást használ, 2 nm-es felbontással.

Mikroszerkezet vizsgálatok

Az elkészített próbatestek mikroszerkezet vizsgálatát JEOL JSM-6380LA pásztázó elektronmikroszkóppal hajtottam végre. A vizsgálatok során a roncsolt próbatestek töretfelületéről készítettem felvételeket. A vizsgált felületeket a mérés előtt Au/Pd ötvözzel vontam be az elektrosztatikus feltöltődés elkerülése érdekében.

4. Új tudományos eredmények – tézisek

A kísérleti eredményeim alapján az alábbi téziseket fogalmaztam meg.

1. tézis

Kimutattam pozitív hibrid hatások jelenlétét a bazalt/szén-, valamint az üveg/szénszövettel erősített hibridkompozitok esetében. A bazalt-, valamint az üvegszövetnek köszönhetően a húzó rugalmassági modulus $16\pm 1\%$ -kal, a hajlító rugalmassági modulus $9\pm 1\%$ -kal, amíg a Charpy-féle ütőszilárdság $6\pm 3\%$ -kal, a kritikus feszültségintenzitási tényező pedig $20\pm 3\%$ -kal növekedett a hibrid keverék szabállyal számított értékekhez képest. A növekmény az üveg-, valamint a bazaltszövet szívós viselkedésének és a szénszövettel történő szinergetikus együttműködésének köszönhető [3-4, 7-13].

2. tézis

Kimutattam, hogy a bazaltszövet szilárdság csökkenésének megindulása $70-80^{\circ}\text{C}$ tartományban a szövetet felépítő elemi szálak termo-oxidatív degradációjára vezethető vissza, amelyet pásztázó elektronmikroszkópi felvételekkel támasztottam alá. A termikus degradáció oxigén jelenlétében már $70-80^{\circ}\text{C}$ hőmérséklet-tartományban megkezdődik, amelyet termogravimetriai (TGA) mérésekkel bizonyítottam. Az erősítőszövet húzószilárdsága a hőmérséklet növelésével folyamatosan csökken, a csökkenés mértéke 100°C -on $19\pm 2\%$, 300°C -on $71\pm 4\%$ 500°C -on $98\pm 2\%$, amelyet sávszakító vizsgálatokkal határoztam meg. Inert atmoszférában a degradáció mértéke – amit a felületkezelő szer által megkötött oxigén okoz – 700°C -on $66\pm 5\%$ -kal kisebb az oxigéndús környezethez képest [2, 15].

3. tézis

A bazaltszövet húzószilárdsága sós-vízben az oldatkoncentráció (10, 20, 30, 38 m%), valamint a tartózkodási idő (1, 2, 4 hét) növelésével folyamatosan csökken, amelyet sávszakító vizsgálatokkal határoztam meg. A degradáció oka elsődlegesen a bazaltszövetet alkotó elemi szálakat felépítő vas és vas-oxid, valamint a sós-víz közötti kémiai korróziós reakció, amit pásztázó elektronmikroszkópi felvételekkel és UV spektroszkópiás mérésekkel bizonyítottam [14, 15].

4. tézis

A szénszövettel erősített epoxi gyanta mátrixú kompozitok térfogati ellenállása és villamos átütési szilárdsága bazaltszövet alkalmazásával növelhető – az elektromágneses árnyékoló képesség javulásával egyetemben – hibridizációval, ahol a szénszövet – a stabil elektronáramlásnak köszönhetően – az elektromágneses árnyékolást, amíg a bazaltszövet – az elektronok gátlásának következtében – az elektromos szigetelést valósítja meg. A bazaltszövet hatására a szénszövettel erősített hibridkompozit felületi ellenállása $14\pm 2\%$ -kal, a térfogati ellenállása $5\pm 1\%$ -kal emelkedett, emellett, hogy nem romlott a minták elektromágneses árnyékoló-képessége [15].

5. tézis

Igazoltam, hogy az őrölt bazaltpor eredményesen alkalmazható bazaltszövettel erősített epoxigyanta mátrixú kompozitok rétegekzi nyírósilárdságának javítására. Az $1,72\pm 0,30\ \mu\text{m}$ átlagos szemcseméretű bazaltpor 1 m%-os koncentrációban $18\pm 2\%$ -kal javította a rétegekzi nyírósilárdságot, amíg azonos koncentrációjú többfalú szén nanocső $29\pm 2\%$ -kal, grafén pedig $49\pm 4\%$ -kal csökkentette. Ennek oka, hogy a nagy fajlagos felületű nano-méretű részecskék összetapadtak, ezáltal agglomerátumokat hoztak létre, amelyek feszültséggyűjtő helyként viselkedtek [1, 2, 15].

6. tézis

Meghatároztam egy, az üveg-, a bazalt-, valamint a szénszövettel erősített epoxigyanta mátrixú mono- és hibridkompozitok kisciklusú húzó, valamint hajlító igénybevétel hatására történő tönkremenetelét leíró összefüggést (T1), amely alkalmazásával becsülhető az általam vizsgált hibridkompozitok – anyagot jellemző – aszimptotikus modulusa a ciklusszám függvényében:

$$E_{\infty} = E_0 + \sum_{k=1}^N E_k g_{\infty} \left(\frac{t_{0k}}{\tau_k} \right) \quad (\text{T1})$$

ahol E_0 , E_k modulus paraméterek, g időtényező, t_{0k} , τ_k időállandók. Kimutattam, hogy a bazaltszövettel erősített mono- és hibridkompozitok mechanikai tulajdonságai folyamatosan csökkentek a ciklusszámmal arányosan, amit a szál és a mátrix elválása okozott. A húzószilárdság a 10. ciklus végére a bazaltszövettel erősített epoxigyanta mátrixú kompozit esetén $8\pm 1\%$ -kal, amíg a szén-bazaltszövettel erősített rendszerénél $9\pm 1\%$ -kal csökkent [14].

5. Saját közlemények jegyzéke

Idegen nyelvű lektorált cikkek

- [1] Czigány T., Deák T., **Tamás P.**: Discontinuous basalt and glass fiber reinforced PP composites from textile prefabricates: effects of interfacial modification on the mechanical performance. *Composite Interfaces*, 15, 697–707 (2008) **IF=0,69**
- [2] Deák T., Czigány T., **Tamás P.**, Németh Cs.: Enhancement of interfacial properties of basalt fiber reinforced nylon 6 matrix composites with silane coupling agents. *Express Polymer Letters*, 4, 590-598 (2010) **IF=1,575**
- [3] **Tamás P.**, Czigány T.: Investigation of mechanical properties and crack propagation behaviour of hybrid composites with epoxy resin matrix. *Materials Science Forum* 729, 284-289 (2013)
- [4] Tábi T., **Tamás P.**, Kovács J.G.: Chopped basalt fibres: A new perspective in reinforcing poly(lactic acid) to produce injection moulded engineering composites from renewable and natural resources. *Express Polymer Letters*, 7, 107-119 (2013) **IF=2,294**
- [5] Tábi T., Égerházi A., **Tamás P.**, Czigány T., Kovács J.G.: Investigation of injection moulded poly(lactic acid) reinforced with long basalt fibres. *Composites Part A*, (benyújtva) **IF=2,744**

Magyar nyelvű folyóiratcikkek

- [6] **Tamás P.**: Mágneses tulajdonságú polimerek fejlesztése és tulajdonságainak elemzése. *Műanyagipari Szemle*, 2, 79-84 (2009)
- [7] **Tamás P.**, Czigány T.: Üveg/szén és bazalt/szén hibridszálas epoxigyanta mátrixú unidirekcionális kompozitok összehasonlítása. *Műanyag és Gumi*, 47, 187-191 (2010)

Konferenci cikkek és előadások

- [8] Czigány T., Deák T., **Tamás P.**: Investigation of mineral fiber reinforced polypropylene matrix composites. 13th European Conference on Composite Materials, 2008. június 2-5., Stockholm, Svédország

- [9] **Tamás P.**, Czigány T.: Static and dynamical behavior of mineral fiber reinforced composites with polypropylene matrix. 6. Nemzetközi Gépészeti Konferencia, 2008. május 29-30., Budapest, Magyarország
- [10] **Tamás P.**, Czigány T.: Polimer mátrixú hibridkompozitok. Erősített Műanyagok 2010 Nemzetközi Balaton Konferencia, 2010. május 18-20., Keszthely, Magyarország
- [11] Czigány T., **Tamás P.**: Comparison of the mechanical properties and the damage progression of basalt, glass and carbon fiber reinforced composites with epoxy resin matrix. 5th Asia-Europe Symposium on Processing and Properties of Reinforced Polymers, 2011. május 29 - június 1., Drezda, Németország
- [12] **Tamás P.**: Characterization of mono- and hybrid composites by the investigation of the mechanical properties of basalt, glass and carbon fiber reinforced composites. ISSP 2011 International Summer School on Polymers, 2011. augusztus 22-26., Szmolenz, Szlovákia
- [13] **Tamás P.**, Czigány T.: Epoxigyanta mátrixú hibridkompozitok mechanikai tulajdonságainak és repedésterjedésének vizsgálata. VIII. Országos Anyagtudományi Konferencia, 2011. október 9-11., Balatonkenese, Magyarország
- [14] **Tamás P.**: Development of basalt fabric reinforced hybrid composites for wind turbine blades. Sao Carlos Advanced School on Materials Science & Engineering, 2012. március 25-31., Sao Carlos, Brazília
- [15] **Tamás P.**, Czigány T.: Basalt fiber - a promising reinforcement for wind turbine blades. 6th Asia-Europe Symposium on Processing and Properties of Reinforced Polymers, 2013. június 2-6., Wuhan, Kína