



**BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR DOKTORI TANÁCSA
DOKTORI TÉZISFÜZETEI**

**Bazaltszállal erősített fröccsöntött poliamid
kompozitok fejlesztése**

című PhD dolgozat alapján

Készítette: Deák Tamás
okl. gépészmérnök
Témavezető: Dr. Czigány Tibor
egyetemi tanár

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

1. Bevezetés

A hőre lágyuló mátrixú kompozitok felhasználása napjainkra megközelíti a hőre keményedő mátrixú kompozitokét. A hőre lágyuló polimer mátrixú kompozit anyagok feldolgozási technológiái között előkelő helyet foglal el a fröccsöntés, amivel nagy termelékenységgel lehet méret pontos és bonyolult geometriájú alkatrészeket gyártani. A legelterjedtebb erősítőanyag az üvegszál, fröccsöntött gyártmányok előállítására szinte kizárólag ezt a száltípust alkalmazzák.

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. A bazalt vegyi összetétele a kitermelés helyétől függően változik, emellett a bazaltszál előállítására különböző technológiák állnak rendelkezésre, ezért a világ különböző pontjain előállított szálak megjelenési formája, tulajdonságai és ára széles határok között változnak.

A bazaltszálaknak számos előnyös tulajdonságuk van, amelyek révén alkalmassá válnak polimer kompozitok erősítőanyagaként való alkalmazásra: a többi elterjedt erősítőszálhoz képest viszonylag nagy a szilárdságuk, nem éghetők, vegyileg közömbösek, környezetkímélők. Ezidáig elsősorban a Junkers technológiával előállított rövid szálak ilyen irányú felhasználhatóságát vizsgálták Magyarországon, azonban ezeknek alacsony áruk mellett néhány jelentős hátrányuk is van. A szálak átmérője és szilárdsága viszonylag tág határok között változik, a gyártás során a szálak végein keletkező szálfejek pedig rontják a mechanikai tulajdonságokat. Ezért joggal fordul a figyelem a folytonos bazaltszálak felé, amelyeket egyenletes minőségben és nagy mennyiségben gyártanak különböző országokban, így például Oroszországban, Ukrajnában és Izraelben.

A bazaltszálakat már sokrétű vizsgálatoknak vetették alá, mint fröccsöntött hőre lágyuló polimerek erősítőanyagát, de elsősorban polipropilén (PP) mátrixszal. A poliamidot (PA) eddig ritkán alkalmazták ebben a szerepkörben annak ellenére, hogy jobb eredmények várhatók tőle, ugyanis a PA és a bazalt egyaránt poláris anyagok, ezért a kompozitjaikban feltehetőleg könnyebb biztosítani a megfelelő határfelületi kapcsolódást. Ugyanilyen fontos szempont az is, hogy a PA-nak jobb mechanikai és hőállósági tulajdonságai vannak, mint a PP-nek. Az üvegszállal erősített fröccsöntött poliamidot már két évtizede alkalmazzák az autógyártásban. Ma már szinte minden személygépkocsi motorjának beszívócsonkjá – és egyre több esetben az olajteknő – üvegszállal erősített poliamidból készül. Régebben ezeket a részeségeket öntött alumíniumötvözetből gyártották.

A rövid szálakkal erősített fröccsöntött kompozitok esetében az egyik legfontosabb feladatot a szálak és a mátrixanyag közötti megfelelő adhéziós kapcsolat megteremtése jelenti. A szálaknak a feldolgozás során végbemenő jelentős töredezése miatt a kritikus szálhossznak megfelelő hosszúságú szálak biztosítása különösen nehéz feladatot jelent, ezért a kritikus szálhossznak az adhézió javításával való csökkentése mindenképpen szükséges. A poliamid mátrixú bazaltszálak kompozitok esetében még nem dolgoztak ki olyan eljárásokat a határfelületi kapcsolódás javítására, amelyek az üvegszálak kompozitokhoz hasonlóan kedvező eredményeket biztosítanak, ezért ezen a területen jelentős előrelépés szükséges.

2. Az irodalomkutatás elemzése, az értekezés célja

A szakirodalmi adatok alapján megállapítható, hogy az elmúlt másfél évtizedben világszerte megnőtt a folytonos bazaltszálak és az abból készült termékek iránti kereslet és érdeklődés. Több országban (elsősorban a volt Szovjetunió területén) egyre nagyobb szálgyártó kapacitások jönnek létre, Európában és Észak-Amerikában pedig a bazaltszál felhasználásával készült félkésztermékeket, egyebek között szöveteket előállító feldolgozó üzemek létesülnek. A folytonos bazaltszálak kompozit erősítőanyagként való felhasználása sok esetben kísérleti fázisban tart, ugyanakkor néhány ilyen termék már jelen van a piacon. Ezen alkalmazások azonban többnyire hőre keményedő mátrixú kompozitokat foglalnak magukba, a hőre lágyuló mátrixú kompozitok közül napjainkig csak a hóformázással feldolgozott lemezek jelentek meg az iparban, míg a folytonos bazaltszálak fröccsöntött termékekben való felhasználására csak kevés utalást lehet találni a szakirodalomban. Előállítási technológiájukat, szerkezetüket és vegyi összetételüket tekintve a bazaltszálak nagymértékben hasonlítanak az üvegszálakra, a legnagyobb különbséget az jelenti, hogy a bazaltszálakat közvetlenül a természetben megtalálható kőzetből állítják elő.

A szálerősítésű kompozitok fröccsöntése jól ismert témakör. A körülményekből fakadóan a szakirodalom szinte kizárólag az üvegszállal erősített fröccsöntött kompozitokra korlátozódik. Az ezen a téren szerzett, a technológiára vonatkozó tapasztalatok (száltöredezés, szálorientáció, zsugorodás stb.) a bazalt- és üvegszálak geometriájának és tulajdonságainak hasonlósága következtében a bazaltszálak kompozitokra is alkalmazhatók.

A fröccsöntött kompozitok esetében a kis szálhosszúság miatt különösen nagy jelentőségű a szálak és a mátrix közötti megfelelő határfelületi tapadás biztosítása. Ez alapvetően kémiai kötések létrehozásával, azaz kapcsolószerek alkalmazásával érhető el. A bazaltszálak hőre lágyuló mátrixú kompozitokhoz való tapadásának javításával nagyon kevés munka foglalkozik, és azok elsősorban PP, nem pedig az általánosan választott PA mátrixhoz

kapcsolódnak. Ugyanakkor az üvegszállal erősített, hőre lágyuló mátrixú kompozitok határfelületi tapadásának javításával foglalkozó szakirodalom igen gazdag, ezért munkámban a bazaltszálak kompozitokhoz is az üvegszálakhoz kidolgozott tapadásjavító adalékokat és eljárásokat veszem alapul. Jelenleg a legkorszerűbb és legelterjedtebb kapcsolószer a szilánok. Ezek között találhatunk olyan típusokat, amelyeket kifejezetten PA mátrixú kompozitokhoz fejlesztettek ki. A kapcsolószer alkalmazása többnyire a kompozitok valamennyi jelentős tulajdonságát javítja. A szakirodalomban fellelhető kísérleti eredményekből világosan látszik, hogy a megfelelő kapcsolószer kiválasztása mellett az annak felvitelére alkalmazott technológia és a kapcsolószer mennyiségének megválasztása is fontos szerepet játszik a tulajdonságok kialakulásában. Meg kell jegyezni, hogy egyes kutatók hőre keményedő mátrixú kompozitokban jelentős eredményeket értek el bazaltszálak felületkezelésével, illetve alkalmazásával. Az irodalomkutatásban ismertetett eredmények alapján disszertációm célkitűzései:

1. A polimer kompozitokban alkalmazható folytonos bazaltszálak tulajdonságainak elemzése. A szálak geometriai jellemzőinek, vegyi összetételének és mechanikai tulajdonságainak meghatározása, illetve az ezek között fennálló összefüggések feltárása.
2. A feldolgozás hatásának vizsgálata a kompozit mechanikai tulajdonságaira, a szálhosszra és a termék zsugorodására. Annak kiderítése, hogy a bazaltszál alkalmas-e a már sikeres üvegszállal erősített poliamidhoz hasonló polimer kompozit létrehozására. Különböző forrásból származó bazaltszálak és mátrixanyagok összehasonlítása, különös tekintettel a bazaltszál gyártók által használt felületkezelési eljárások alkalmazhatóságára PA6 és PA6.6 mátrixú kompozitoknál. Céлом továbbá a kompozitok termomechanikai tulajdonságainak meghatározása, illetve ezek és a felületkezelés minősége közötti összefüggések feltárása.
3. Az erősítőszálak hatékony felületkezelési módjának kidolgozása megfelelő határfelület-módosító adalékokkal, a felületkezelő szer típusának és mennyiségének figyelembe vételével.
4. A bazaltszállal erősített kompozitok mechanikai jellemzői egyéb javítási lehetőségeinek feltárása, elsősorban a maradó szálhossz növelésével, a szálhossz növeléséhez szükséges új ömledékkeverési technológia alkalmazhatóságának vizsgálata.

3. Alkalmazott anyagok és vizsgálati módszerek

A felhasznált erősítőanyagok típusa és jelölései a 1. táblázatban láthatók. A rövid bazaltszál Junkers technológiával készült, míg a folytonos bazaltszálak és az üvegszál szálhúzással. A felhasznált mátrixanyagok típusa és jelölései a 2. táblázatban láthatók.

Jelölés	Szál típusa	Gyártó, származási hely
SB	Rövid bazaltszál	Toplan (Magyarország)
CB1	Folytonos bazaltszál	Kamenny Vek (Oroszország)
CB2	Folytonos bazaltszál	D.S.E. Group (Izrael)
CB3	Folytonos bazaltszál	Technobasalt (Ukrajna)
GF	E-üvegszál	Johns Manville (Szlovákia)

1. táblázat A vizsgálatok során felhasznált erősítőanyagok

Típus	Márkanév	Gyártó, származási hely
PA6	Schulamid 6MV13F	A. Schulman GmbH (Németország)
PA6.6	Akulon S223-E	DSM N.V. (Hollandia)
PA6	Factor PA6	FACT GmbH (Németország)

2. táblázat A vizsgálatok során felhasznált mátrixanyagok

Öt párhuzamos mérésből határoztam meg a mechanikai jellemzőket, a legjobbat, illetve a legrosszabbat elhagyva átlagértéket és szórást számoltam. A mechanikai vizsgálatokat megelőzően a próbatesteket 50% relatív páratartalom és 20°C hőmérséklet mellett kondicionáltam legalább 24 óráig.

Az elemi bazalt- és üvegszálak átmérőjét Projectina 4014/BK-2 típusú vetítómikroszkóphoz illesztett videokamerás képfeldolgozó rendszerrel, 400-szoros nagyítással, áteső megvilágítással határoztam meg. A szálak szakítóvizsgálatát az MSZ EN ISO 5079:1999 szabvány alapján, fajtánként 100 darab elemi szálon végeztem, 25 mm befogási hosszal. A bazalt- és üvegszálak elemi összetételét ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry – induktívan csatolt plazma optikai emissziós spektrometria) módszerrel határoztam meg.

A próbatestek fröccsöntését Arburg 270 C 500-250 típusú fröccsöntő gépen végeztem el. A csiga kerületi sebessége 15 m/perc, míg a szerszámhőmérséklet 80°C volt. 4×10 mm keresztmetszetű szabványos piskóta alakú, valamint a zsugorodási vizsgálatok céljára 80×80×2 mm nagyságú lapkapróbatesteket fröccsöntöttem. Az alapanyagokat feldolgozás előtt minden esetben 80°C-on, 5 órát szárítottam.

A fröccsöntött próbatetek húzóvizsgálatát az MSZ EN ISO 527 szabvány alapján hajtottam végre. A befogási hossz 100 mm, a vizsgálati sebesség 2 mm/perc volt. A hárompontos hajlító vizsgálatot az MSZ EN ISO 178 szabvány alapján hajtottam végre. Az alátámasztási távolság 64 mm, a vizsgálati sebesség 2 mm/perc volt. A Charpy-féle ütvehajlító vizsgálatot az MSZ EN ISO 179 szabvány alapján végeztem el CEAST Resil Impactor típusú berendezésen, hornyolt és hornyolatlan próbatesteken. A bemetszés „A” típusú (0,25 mm lekerekítési sugarú, 45°-os), 2 mm mélységű, az alkalmazott üténergia 15 J, a becsapódás sebessége 3,3 m/s, a próbatetek hossza 80 mm, keresztmetszetük 4×10 mm, az alátámasztási távolság pedig 62 mm volt.

A DMA (dinamikus mechanikai analízis) vizsgálatokat a fröccsöntött próbatetekből kimunkált darabokon hajtottam végre. Minden anyagból három próbatestet vizsgáltam, az ezekkel mért értékek átlagát számítottam ki. A próbatesteket a fröccsöntött szakító próbatetek középső részéből vágtam ki. A méréseket Perkin-Elmer Diamond DMA berendezésen hajtottam végre. A méréseket befogott hajlító (dual cantilever) konfigurációban, lengő erőgerjesztéssel végeztem. A próbatetek keresztmetszete 2×4 mm, a vizsgálati frekvencia 1 Hz volt. A DMA mérések során alkalmazott paraméterek a 3. táblázatban láthatók.

Paraméter	Érték
Próbatest szélessége, z [mm]	4
Próbatest vastagsága, y [mm]	2
Alátámasztási távolság, x [mm]	30
Erőamplitúdó, F_0 [mN]	400
Fűtési sebesség [°C/perc]	2
Hőmérséklet-tartomány [°C]	-40 ... 180

3. táblázat A DMA mérések során alkalmazott paraméterek

A fröccsöntött próbatetekből kiégetéssel eltávolítottam a mátrixanyagot és optikai mikroszkóppal mértem le a visszamaradó szálak hosszát. A kiégetést a szabványos szakító próbatetek közepéből kivágott 20 mm hosszú darabok felhasználásával végeztem. Olympus BX51 optikai mikroszkóp és AnalySIS Steel Factory képelemző szoftver alkalmazásával, áteső megvilágítással, tízszeres nagyítással, képfeldolgozó program segítségével minden anyagból 500 szál hosszát mértem meg, 0,1 μm pontossággal.

A bazaltszálakon végzett felületkezelés közvetlen ellenőrzése céljából a különböző kezelésű szálakon FTIR (Fourier transzformációs infravörös spektroszkópia) méréseket

végeztem. A méréseket egy Varian Scimitar 2000 típusú visszaverődéses FTIR berendezésen végeztem. Ennek működési elve a következő: a mintát (esetemben a 6 mm hosszúságú vágott szálakból álló kötegeket) egy gyémánt egykristály és egy zafír közé szorítják. A mintát a gyémánton keresztül a 400-4000 cm^{-1} hullámszám-tartományban infravörös fénnel világítják meg, a visszaverődő sugárzás pedig ugyanezen a gyémánton keresztül jut a spektrométerbe. A sugárzás elemzéséből megállapítható, hogy az egyes hullámhosszokon mennyi energia nyelődött el. Ebből egy elnyelődési spektrumot lehet előállítani, amely a hullámhossz – vagy reciproka, a hullámszám – függvényében ábrázolja az elnyelődés mértékét. Az FTIR a vizsgált anyagban jelenlévő atomcsoportokat és molekulákat képes kimutatni.

Az ejtődárdás vizsgálatokat egy Ceast Fractovis 6785 berendezésen hajtottam végre, $80 \times 80 \times 2$ mm-es lapka próbatestek felhasználásával. Az alkalmazott ejtősúly tömege 23,62 kg volt. A becsapódás energiája 150 J, sebessége pedig 3,56 m/s volt.

A következő eljárással végeztem méréseket a szálorientáció megállapítására rövid és hosszú bazaltszálakkal erősített fröccsöntött próbatestekben: a szabványos szakítópróbatetek középső részéből kivágtam egy darabot, ebből – a próbatest középvonalában – hosszmetzeti csiszolatot készítettem, majd Olympus BX51 optikai mikroszkóp és AnalySIS Steel Factory képelemző szoftver alkalmazásával felvételeket készítettem a próbatest teljes keresztmetszete mentén a csiszolat felületéről. A mintát tíz 0,4 mm széles zónára osztottam és mindegyik zónában egyenként megállapítottam az egyes szálaknak a próbatest keresztmetzeti síkjával bezárt szögét.

A kvázistatikus igénybevétel utáni töretfelületek pásztázó elektron mikroszkópos (SEM) vizsgálatával elemeztem a mikroszkópikus tönkremeneteli folyamatokat. A SEM vizsgálatokat Jeol JSM-6380-LA típusjelű műszerrel végeztem. A töretfelületeket a vizsgálat előtt Au bevonattal láttam el.

4. Tézisek

1. Kimutattam, hogy a folytonos technológiával gyártott vágott bazaltszál kiválóan alkalmas PA6 és PA6.6 mátrixú fröccsöntött kompozitok erősítőanyagaként való felhasználásra. A 10, 20, 30 és 40 m% bazaltszál erősítésű, kompaundálással és fröccsöntéssel előállított kompozitoknál kedvező szilárdsági tulajdonságok érhetőek el, 40 m% szálerősítéssel a húzószilárdság a mátrixhoz képest a háromszorosára növelhető. A bazaltszálak felhasználásával az üvegszálak kompozitokéhoz hasonló mechanikai tulajdonságokkal rendelkező termékek állíthatók elő [17, 10].
2. Kimutattam, hogy a folytonos technológiával és a Junkers eljárással előállított bazaltszálak átlagos szakítószilárdsága az anyaguk együttes $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$ tartalmával szoros, pozitív meredekségű lineáris összefüggést mutat, a 60 és 70 m% közötti tartományban. A $\sigma=a\cdot C-b$ egyenlettel leírható egyenes meredeksége és konstans értéke az általam alkalmazott kísérleti rendszerben az alábbi értékre adódott: $a=128$ MPa/m%, $b=7000$ MPa, ahol σ [MPa] a szálak átlagos szakítószilárdsága, C [m%] a bazalt együttes $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$ tartalma [20].
3. Különböző határfelületi kölcsönhatást növelő anyagokkal kezelt, különböző típusú bazaltszálakkal erősített PA6 és PA6.6 mátrixú fröccsöntött kompozitok és mátrixanyaguk $-40\dots 170^\circ\text{C}$ hőmérséklet-tartományban végzett dinamikus mechanikai analízise alapján kimutattam, hogy a vizsgált kompozitok esetében a veszteségi tényező és tárolási modulus összehasonlítása alkalmas a szál-mátrix határfelületi adhézió minősítésére. Igazoltam, hogy a veszteségi tényező görbe csúcsának magassága összhangban van a szál-mátrix határfelületet minőségével az üvegesedési átmenetben és az afölötti hőmérsékleteken: minél alacsonyabb a csúcs magassága, illetve minél nagyobb a tárolási modulus, annál erősebb a határfelületi adhézió [15, 18].
4. Kimutattam, hogy egységes technológiai paraméterekkel, kompaundálással és fröccsöntéssel előállított, különböző típusú és felületkezelésű bazaltszálakkal erősített PA6 és PA6.6 mátrixú kompozit próbatestekben jelen lévő szálak átlagos hossza a száltartalom függvényében a 10-40 m% tartományban az $l_f=-A\cdot c+B$ összefüggéssel jellemezhető, ahol c [m%] a száltartalom, l_f [mm] az átlagos szálhossz, B [mm] és A [mm/m%] állandók. A B tényező a vizsgált kompozitoknál 0,16 és 0,30 mm között változik az alkalmazott mátrixtól és száltípustól függően. Az A tényező értéke $0,0020\pm 0,0004$ mm/m% [10].

-
5. Sikeresen alkalmaztam oldatos felületkezelést bazaltszállal erősített PA6 mátrixú kompozitok előállítására. Megállapítottam, hogy a vizsgált anyagok közül a legjobb hatást a 3-glicidoxi-propil-trimetoxi-szilán típusú kezelőanyag (a szátra vonatkoztatva 4 m% mennyiségben alkalmazva) eredményezte. A felületkezelés hatására 30 m% szállal erősített kompozit esetében a húzószilárdság a kezeletlen kompozithoz képest 42%-kal, a hajlító szilárdság 37%-kal, a hornyolatlan próbatesteken mért fajlagos ütőmunka 223%-kal nőtt. A felületkezelés sikerességét Fourier-transzformációs visszaverődéses infravörös spektroszkópiával igazoltam [18].
6. Folytonos technológiával gyártott bazaltszálakkal erősített, újszerű hosszúszálas technológiával valamint kompaundálással előállított rövidszálas, fröccsöntött PA6 mátrixú kompozitok összehasonlításával kimutattam, hogy:
- a: Kíméletes fröccsöntési paraméterek alkalmazásával a vizsgált hosszúszálas eljárással gyártott kompozitokban az erősítőszálak alaki tényezője (átlagos hossz/átmérő viszonya) 130, szemben a kompaundált rövidszálas kompozitokkal, ahol az alaki tényező átlagos értéke 14. A hosszúszálas kompozitok ütvehajlító szilárdsága és perforációs energiája több mint 100%-kal felülmúlja a rövidszálas kompozitokét. Dinamikus mechanikai analízis segítségével megállapítottam, hogy a hosszú erősítőszálak alkalmazása átlagosan 10%-kal növeli a tárolási modulust és hasonló mértékben csökkenti a veszteségi tényezőt a rövidszálas kompozitokhoz képest.
 - b: A hosszúszálas eljárással gyártott kompozitok fröccsöntési zsugorodása a hagyományos rövidszálas kompozitokhoz viszonyítva homogénebb, a hosszúszálas kompozitok esetében az áramlásirányú és az erre merőleges zsugorodás hányadosa 30%-kal kisebb a rövidszálas kompozitokhoz képest. Ennek oka, hogy a hosszúszálas kompozit próbatestek magrétegében lényegesen kisebb, míg a héjrétegben azonos a kialakuló szálorientáció, mint a rövidszálas kompozitokban [21].

5. Az értekezés témaköréből készült közlemények jegyéke

Magyar nyelvű konferencia előadások

1. **Deák T.**, Czigány T.: A szálgyártási technológia hatása a bazaltszálak mechanikai és geometriai tulajdonságaira, Anyagvizsgálat a Gyakorlatban Konferencia, Tengelic (2006)
2. **Deák T.**, Czigány T.: Bazaltszállal erősített poliamid mátrixú kompozitok vizsgálata, VI. Országos Anyagtudományi Konferencia, Siófok (2007)

Angol nyelvű konferencia előadások

3. **Deák T.**, Kovács J. G.: Study of mechanical properties of injection molded basalt fiber reinforced polyamide composites, 23rd Danubia-Adria Symposium, Szlovákia, Podbanské, (2006)
4. **Deák T.**, Czigány T.: Development of basalt fiber reinforced polymer composites with thermoplastic matrix, Materiais 2007 Conference, Portugália, Porto (2007)
5. **Deák T.**, Czigány T.: Investigation of mechanical properties and chemical composition of basalt fibers, 3rd China-Europe Symposium on Processing and Properties of Reinforced Polymers, Budapest (2007)

Magyar nyelvű, lektorált folyóiratcikkek

6. **Deák T.**, Kovács J. G., Szabó J. S.: Bazaltszál-erősítésű fröccsöntött poliamid zsugorodásának vizsgálata, Műanyag és Gumi, 41 (2004), 443-451.
7. **Deák T.**: A fröccsöntési zsugorodás és a technológia összefüggése, Műanyagipari Szemle, 2(2) (2005), 23-29.
8. **Deák T.**, Kovács J. G., Szabó J. S.: Bazaltszál-erősítésű fröccsöntött poliamid mechanikai tulajdonságainak vizsgálata, Anyagvizsgálók Lapja, 15 (2005), 88-92.
9. **Deák T.**: Bazaltszál – az üvegszál vetélytársa, Műanyagipari Szemle, 5(3) (2008), 23-28.
10. Czigány T., **Deák T.**: Folytonos bazaltszállal erősített poliamid mátrixú polimer kompozit szerkezeti anyag fejlesztése, Műanyag és Gumi, 47 (2010), 63-68.

Idegen nyelvű, lektorált konferenciatickek

11. **Deák T.**, Kovács J. G.: Investigation of the molding shrinkage of basalt fiber reinforced injection molded polymer composites, Fifth Conference on Mechanical Engineering, Budapest, CD proceeding, p. 6 (2006)
12. **Deák T.**, Czigány T.: Effect of fiber surface treatment on mechanical properties of basalt fiber reinforced thermoplastic matrix polymer composites, Sixth Conference on Mechanical Engineering, Budapest, CD proceeding, p. 7 (2008)

-
13. Czigány T., **Deák T.**, Tamás P.: Investigation of mineral fiber reinforced polypropylene matrix composites, 13th European Conference on Composite Materials. Stockholm, CD proceeding, p. 9 (2008)
 14. **Deák T.**, Czigány T., Balogh G., Maršáľková M., Kovačič V., Militký J.: Thermomechanical properties of basalt fiber reinforced polyamide composites. Proceedings of 15th International Conference 'STRUTEX' on Structure and Structural Mechanics of Textiles. Liberec, Csehország, (2008), 33-40.
 15. **Deák T.**, Czigány T.: Temperature dependent behavior of mineral fiber reinforced composites, Eighth Conference on Mechanical Engineering, Budapest, CD proceeding, p. 8 (2010), *benyűjtva: 2010*

Idegen nyelvű, lektorált folyóiratcikkek

16. Vas L. M., Pölöskei K., Felhős D., **Deák T.**, Czigány T.: Theoretical and experimental study of the effect of fiber heads on the mechanical properties of non-continuous basalt fiber reinforced composites, Express Polymer Letters, 1 (2007), 109-121.
17. **Deák T.**, Czigány T.: Investigation of basalt fiber reinforced polyamide composites, Materials Science Forum, 589 (2008), 7-12.
18. **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, *benyűjtva: 2010*.
19. 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 (2008), 697-707. *IF=0,690*
20. **Deák T.**, Czigány T.: Chemical composition and mechanical properties of basalt and glass fibers: A comparison, Textile Research Journal, 79 (2009), 645-651. *IF=0,779*
21. **Deák T.**, Czigány T., Maršáľková M., Militký J.: Manufacturing and testing of long basalt fiber reinforced thermoplastic matrix composites, Polymer Engineering and Science, *közlésre elfogadva 2010, IF=1,245*