

Bazaltszálás polimer kompozitok hőpajzsként történő alkalmazhatóságának elemzése
Griger B. Gy., Nyári Sz., Sántha P., Tamás-Bényei P.

Accepted for publication in Polimerek

Published in 2021

DOI:

GRIGER BÁLINT GYÖRGY¹, NYÁRI SZILVIA¹, SÁNTHA PÉTER¹, TAMÁS-BÉNYEI PÉTER¹

BAZALTSZÁLAS POLIMER KOMPOZITOK HŐPAJZSKÉNT TÖRTÉNŐ ALKALMAZHATÓSÁGÁNAK ELEMZÉSE

APPLICATION OF BASALT FIBER REINFORCED POLYMER COMPOSITES IN THERMAL SHIELDING

Bazaltszövet, vágott bazaltszál, őrlött bazaltszál (por) és hibrid (szövet+por) erősítésű, epoxi mátrixú minták láng- és hőállóságát vizsgáltuk. Megállapítottuk, hogy a por erősítés adja a legjobb lángállóságot, majd sorrendben a vágott szál, a hibrid és a szövet erősítés.

Our team have assessed the flame and heat resistance of basalt fiber reinforced polymer (BFRP) composite materials. Several forms of basalt fiber (milled, chopped fiber, woven fabric) was used with epoxi resin during our experiments. We have concluded that milled fibers provide the best flame resistance, the other reinforcements in order of flame resistance were chopped fiber, hybrid and woven fabric reinforcements.

1. BEVEZETÉS – BAZALT SZÁLAK EREDETE

A polimer kompozitok intenzívebb térnyerése a dinamikus növekvő ipari felhasználása miatt egyre szembetűnőbb napjainkban. A polimer kompozitok számos előnyös tulajdonsággal rendelkeznek más szerkezeti anyagokhoz képest, például a kis sűrűség mellett kiváló teherviselő képesség, a tervezhető erősítési irány, és az, hogy szinte tetszőleges geometriák is létrehozhatók alkalmazásukkal. Az erősítőanyagok piacát elsősorban a különféle üvegszálak és szénszálak határozzák meg [1], azonban előfordulnak olyan ipari alkalmazások is, amelyekhez szükségesek a mechanikai tulajdonságokon felül más szempontok teljesítése is. Ilyen tulajdonságok például a hőállóság, égésgátlóság, szigetelőképeség, vegyszer- és környezetállóság, illetve a napjainkban előtérbe kerülő környezetvédelmi szempontok is. Ne felejtsük el azonban a gyártási szempontokat sem, sok esetben az alternatív erősítőanyagok alapanyaga, előállítás, utókezelése és feldolgozása is olcsóbb lehet, valamint a környezetterhelésük is alacsonyabb lehet, mint az említett szokványos erősítőanyagoknak.

A bazaltszál egy olyan mesterségesen előállított erősítőanyag, amelynek alapanyaga a természetes ásványi, vulkanikus bazalt kőzet [2]. Ez a kiömlési vulkanikus kőzet a természetben nagy mennyiségben, viszonylag könnyen hozzáférhető módon fellelhető, bányászata jellemzően külszíni fejtéssel történik. A bazalt, mint alapanyag, kiváló villamos szigetelő képességgel, alacsony nedvességfelvétellel rendelkező, biológiailag semleges kőzet. Az elkészített bazaltszálak környezetvédelmi és egészségügyi szempontból sem jelentenek veszélyt, szemben más ásványi eredetű erősítő-, illetve töltőanyagokkal (üvegszál, azbeszt). Sűrűsége 2700 g/cm³, olvadáspontja 1350 °C és 1700 °C között van, hirtelen lehűtve nagy részben amorf, lassan hűtve inkább kristályos szerkezetű. A bazalt kémiaiilag lúgos környezetben stabil, erős savas hatásra veszít a stabilitásából. Szerkezeti anyagként való alkalmazása széles hőmérsékleti tartományban mozog, -200 °C-tól +700 °C-ig terjed. Ennél magasabb hőmérsékleten a bazalt teherviselő képessége folyamatosan csökken, ugyanis az erősítő szálak törékennyé válnak magasabb hőmérsékleten. A bazaltszálak mechanikai tulajdonságai alapján az E és az S-2 típusú üvegszálak között helyezkednek el [3, 4].

A bazaltszál előállítása általában egylépcsős technológiai folyamat, közvetlenül a bazaltkő felhasználásával történik. Mivel a bazalt kőzet kémiai összetétele igencsak változó, emiatt a szálgyártáshoz csak bizonyos összetételű kőzetek alkalmasak, illetve a kész szálak minősége is ingadozó lehet [5]. Az üvegszál előállításnál az alapanyag keverék kémiai összetétele pontosan beállítható, ezáltal a kész szálak minősége is konzisztens. Termelés szempontjából az üvegszál gyártásnál az alapanyag keverék pontosan összeállítható, így a kész szálak minősége is konzisztens, viszont az alapanyagok kezelése költségesebb a több komponens miatt. Ezzel szemben a bazaltszál gyártás gazdaságosabb, ugyanis elegendő egyetlen alapanyagot, a bazalt kőzetet kezelni, így ez jelentős megtakarításokat hozhat. Rövid szálakat, illetve nemszőtt struktúrákat Junkers eljárással, folytonos szálakat pedig szálhúzással vagy duplex eljárással gyártanak [6].

A Junkers eljárás során az olvadt kőzetet nagy sebességgel forgó acélhengerekre (ún. centrifugálfejekre) vezetik, ahol vékony filmet képeznek, majd a centrifugális erő hatására cseppek válnak le a hengerek felületéről, végül az olvadék cseppekre vezetett

nagysebességű levegőárammal szálak húznak. Az eljárás során gyengébb mechanikai tulajdonságú szálak keletkeznek, illetve a szálak végén található szálfejek is ronthatják a kompozitok mechanikai tulajdonságait [7], viszont ez az eljárás olcsó, gazdaságos és viszonylag egyszerű. Ezzel a technológiával állítják elő a különféle kőzetgyapotokat, amiket elsősorban hőszigetelésre használnak az építőiparban.

A szálhúzás és a duplex eljárás során az alapanyagot két lépcsőben olvasztják meg, a második precízen szabályozott olvasztó szakaszból vezetik át az ömledéket a szálképző fejekre, ezután a szálakat kötegelik, nyújtják és végül felületüket kezelik. A duplex eljárás során a szálakat kialakítás után levegővel fújják meg, amelynek hatására a szálak megnyúlnak, így csökken a szálátmérő, illetve hamarabb lehűlnek a szálak. A folytonos szálakat tartalmazó szálkötegekből (roving) a kompozitiparban elterjedt erősítőstruktúrákat állítanak elő.

A bazaltszálak versenyképességét az üvegszállal szemben növeli a bazalt alapanyag könnyű hozzáférhetősége, könnyebb kezelése és természetes eredete. Azonban a feldolgozásnál a magasabb olvadási hőmérséklet miatt jelentkező nagyobb energia igény jelen technológia állása szerint drágább előállítási költségeket von maga után. A gyártási technológia fejlesztése és a paraméterek optimalizálása nem csak minőségi javulást, hanem gazdaságos termelést biztosíthat a bazaltszálak előállításánál.

2. BAZALTSZÁL ERŐSÍTÉSI KOMPOZITOK (BFRP) ALKALMAZÁSA

A bazaltszál erősítést, illetve a bazaltszál erősítésű kompozitokat (BFRP) számos ipari területen alkalmazzák. A kiváló vegyszerálló ságnak és a hidrofób tulajdonságnak köszönhetően előszeretettel használják a BFRP anyagokat tengeri környezetben, például tengeri szél-turbináknál (offshore windfarm), ár-ápany erómuveknél [8], illetve hajótesteknél [9]. Hőálló tulajdonságai miatt bazaltszálakból szőtt szöveteket és szalagokat alkalmaznak az autóiparban motortéri és kipufogó elemek szigetelésére. Az építőiparban is előszeretettel használják a kőzetgyapotot hőszigetelésként. Ezenkívül az építőiparban is megfigyelhető a bazaltszál térnyerése. Kutatások folynak a bazaltszállal erősített beton mátrixú kompozitok [10] terén, illetve elterjedtek a betonszerkezetek erősítésére szolgáló pultrudált BFRP termékek, az úgynevezett rebar rudak [11, 12]. Ezek szilárdsága és előállítási költsége összemérhető a hagyományos betonacéllal, emellett viszont korrózióállóbb és kis sűrűségűeknek köszönhetően könnyen kezelhető, biztonságos és gazdaságosan szállítható megoldást jelentenek. Más természetes eredetű erősítő-, illetve töltőanyagokkal rendelkező kompozit szerkezeti anyagok, például a fa-polimer kompozitok (WPC) gyúlékonyak. Ezeknek a természetes eredetű kompozit anyagoknak az égésgátlása csak speciális égésgátló adalékokkal valósítható meg, ahogy azt Mokhena és társai [13] is vizsgálták. A bazalt hőálló tulajdonsága miatt lehetőség nyílik a BFRP kompozitok emelt hőmérsékletű környezetben való szerkezeti, biztonságtechnikai és tűzvédelmi alkalmazására. Ez lehetőséget nyújt olyan funkcionális szerkezeti anyagok fejlesztésére, amelyek nem szorulnak további égésgátlási megoldásokra, ugyanis anyagukban égésgátlóanyagok vannak.

Hao és társainak [14] célja annak a kérdésnek a megválaszolása volt, hogy a bazaltszálakat a tűzvédelemben és hőszigetelésként

való alkalmazása mellett lehetőség lenne-e a tűztöltőruha fejlesztéséhez felhasználni. A bazaltszálak hőszigetelő tulajdonságai szélesebb körben vizsgáltak, mint a hővédő tulajdonságaik. A hővédő tulajdonságok vizsgálatánál intenzív hőáramnak való ellenállást teszteltek. A TGA és SEM elemzések alapján a bazaltszál jó hőstabilitást mutat, jó hőszigetelő és hővédő tulajdonságokkal rendelkezik, mint az egyéb anyagból készült, kiváló hővédő tulajdonságú nemszőtt textíliák. A vizsgált minták közül a 4 mm vastagságú textilnek van a legjobb teljesítménye védelmi szempontból, így az potenciálisan felhasználható a hőszigetelés és tűzvédelem területén. Matykiewicz és társai [15] kutatásai során az epoxi gyanta mátrixú, bazaltszál és bazalt por tartalmú hibrid kompozit termomechanikai tulajdonságait vizsgálták. A merev szálakkal erősített epoxi mátrix lehetővé teszi nagy merevségű és szilárdságú építőanyagok előállítását. A legnagyobb rugalmassági moduluszt (3400 MPa) és üvegesedési átmeneti hőmérsékletet (122 °C) bazaltport tartalmazó minták esetében regisztrálták. A töltött polimerek tulajdonságait alapvetően befolyásolja a polimer mátrix molekuláris mobilitásának a polimer felületén való kölcsönhatás által kiváltott változása és a fázisok közötti kapcsolat. A szerves bazalt részecskék jelenléte korlátozhatja a polimer láncok mozgását, ezenfelül az ásványi töltőanyagoknak a nagyobb mennyisége nem javítja a kompozitok viszkoeelasztikus tulajdonságait, mivel rossz kötési szilárdságúak. A TGA mérések adatai alapján a legnagyobb hőstabilitás a 2,5 tömegszázalék (m/m%) bazaltport tartalmazó mintánál figyelhető meg. A portartalom növelésével az 5%-os tömegvesztés csökken és eléri a minimumot a 10 m/m%-os minta esetében. Az eredmények azt mutatták, hogy az új hibrid kompozitok jobban ellenálltak a hőmérsékleti változásoknak, mint a referenciaminta, amit a dinamikus mechanikai termikus analízis (DMTA) során bebizonyítottak. Ezenfelül a bazaltpor jelenléte lassította az epoxi mátrix bomlási sebességét. Kimutatták, hogy a bazaltszálak és a bazaltpor kombinálása javítja az epoxi mátrixú kompozitok merevségét és hőállóságát megfelelő eloszlottság esetén, aggregátummentes anyagokban.

Zhu társaival [16] tanulmányozta a különböző mátrixanyagú BFRP rudak mechanikai tulajdonságait, hő- és tűzállóságát. Megállapították, hogy az égésgátló adalékokat tartalmazó, vinil gyanta mátrixú rudak nagyobb hőállósággal rendelkeznek, mint az égésgátlót tartalmazó epoxi gyanta vagy az adalékokat nem tartalmazó vinil gyanta mátrixú mintadarabok. Ezenkívül azt figyelték meg, hogy az adalékokat tartalmazó mátrixanyagok esetében az üvegesedési hőmérséklet közelében ($T_g=174$ °C) a rudak mechanikai tulajdonságai nem tértek el lényegesen a referencia hőmérsékleten mért értékektől, vagyis a szerkezet megtartotta teherviselő képességét.

Laducci és társainak [17] tanulmánya az új kompozit anyagokkal készített passzív tűzvédelmi panelek jellemzésére összpontosít, amelyek bazaltszálakon, valamint szerves és szerves mátrixokon alapulnak. A hővédő panelek heves égésű tüzekkel (jet fire) szembeni ellenállóképességét vizsgálták. Ennek érdekében egy kísérleti létesítményt terveztek kifejezetten a sugárzó tüzek laboratóriumi szintű szimulálására. A különböző típusú anyagok viselkedését és reakcióját a hőmérsékleti profilok, a súlyvesztések és a szakadás idejének meghatározásával jellemezték. Más anyagokkal összehasonlítva a bazalt alapú kompozitok alacsony falhőmérséklettel és jó maradék szilárdsággal rendelkeznek, ami késlelteti a panel tönkremenetelét. Ennek következtében a bazaltszálak kulcsfontosságúak tekinthetők a passzív tűzvédelmi pajzsok kifejlesztésében.

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.

Matykievicz és társai [18] a tanulmány céljából a bazaltpor epoxi mátrixú kompozitok termomechanikai tulajdonságait módosító hatásainak vizsgálatát tűzték ki. A termikus stabilitást TGA módszerrel (30-900 °C között), az éghetőséget UL-94 teszttel és mikrokálorimetriával vizsgálták. Ezenkívül a kompozitok termomechanikai tulajdonságait dinamikus mechanikai termoanalízissel határozták meg. Az eredmények bebizonyították, hogy a bazalt por (10, 20, 30, 40 m/m%) sikeresen alkalmazható az epoxi gyanta adalékaként. A kompozitok termomechanikai tulajdonságai javultak az ásványi töltőanyag megnövekedett tartalmával. A bazaltpor jelenléte késleltette az epoxi mátrix bomlási sebességét. Ezenkívül a bazaltpor hozzáadása javította a kompozitok merevségét és keménységét is.

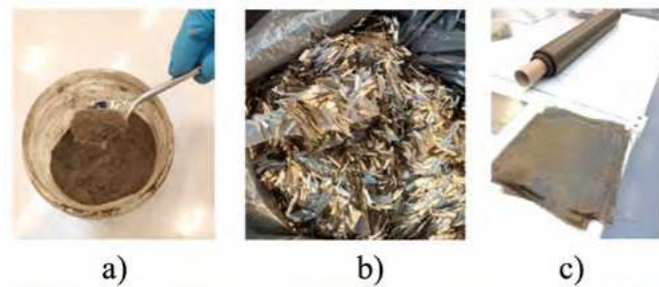
A szakirodalmi áttekintést figyelembe véve kutatásunk során megvizsgáltuk, hogy a különböző típusú bazaltszállal erősített epoxi gyanta mátrixú kompozitok – külön égésgátló adalék hozzáadása nélkül – hogyan viselkednek emelt hőmérsékletű környezetben és alkalmazhatók-e hővédő panelekben, és ha igen, akkor milyen körülmények között.

3. FELHASZNÁLT ANYAGOK ÉS MINTAKÉSZÍTÉS

A vizsgálatokhoz három, kereskedelmi forgalomban is kapható erősítőstruktúrát választottunk ki, őrölt bazaltszálat (Basaltex, Belgium, átlagos szálhossz: 5 µm), vágott bazaltszálat (Kamenny Vek, Oroszország, átlagos szálhossz: 12,7 mm) és bazaltszövetet (Kamenny Vek, Oroszország, vászon kötés, területi sűrűség: 210 g/m²), amelyeket az 1. ábra mutat. Az elkészített kompozitok mátrixanyagául egy általános felhasználási célú epoxi gyantát (IPOX MR 3010 gyantát és IPOX MH 3124 térhálósítót, IpoX Chemicals, Magyarország) használtunk 100:33 keverési arányban.

Az őrölt bazaltszálat (milled basalt fiber) tartalmazó minták gyártásához első lépésben különböző mennyiségű (10, 20, 30 m/m%) töltőanyagot kevertünk az epoxi komponenshez egy IKA RWA száras keverő segítségével 5000 fordulat/perc sebességgel 5 percig, majd homogenizálás után hozzáadtuk a térhálósító komponenst és további 2 percig kevertük. Az elkészített keveréket ezután szilikon szerszámba öntöttük és légköri nyomáson, szobahőmérsékleten térhálósítottuk.

Az első kísérletsorozatban 1-3-6 réteg bazaltszövet (basalt fabric) erősítésű minták készültek el kézi laminálással, majd a kezdeti eredmények alapján hibrid mintákat készítettünk, amelyekben 6 réteg szövetet és 10, 20, 30 m/m% őrölt szálat tartalmazó epoxi mátrixot használtunk a minták laminálása során. A bazaltszövetet méretre vágtuk, a szerszámot előkészítettük és a gyártáshoz használt PET fóliát formaleválasztóval kezeltük.



1. ábra: A felhasznált, különböző struktúrájú bazaltszálat – a) őrölt bazaltszál, b) vágott bazaltszál, c) bazaltszövet

A hibrid minták mátrixanyagát a tisztán őrölt szálas mintákhoz hasonló módon kevertük. A vágott bazaltszálat (chopped basalt fiber) tartalmazó minták szintén 10, 20, 30 m/m% erősítőanyag tartalommal kerültek legyártásra, amelyhez Dunastyr 30 T hidraulikus prést használtunk. A gyanta kimérését követően a vágott szálat elkevertük a mátrixban. Mivel a rövid szálok homogén elkeverése több időt vett igénybe, mint a por töltés elosztása, ezért a térhálósítók korai kialakulását megelőzően csak az utolsó lépésben adtuk a térhálósítót a keverékhez. A kompozit mintákat minden esetben Despatch LBB2-27-1CE szárítószekrényben utótérehálósítottuk 80 °C-on 1 órán keresztül. A kompozit lemezekből a próbatesteket egy Mutronic Diadisc 4200 típusú gyémánttárcsás körfűrész segítségével vágtuk méretre.

1. táblázat: Legyártott minták adatai

Név	Anyagtípus	Mennyiség	Névleges száltartalom [m%]
EP	Epoxi gyanta	-	0
BFM10	Őrölt bazaltszál	10 m%	10
BFM20	Őrölt bazaltszál	20 m%	20
BFM30	Őrölt bazaltszál	30 m%	30
BFC10	Vágott bazaltszál	10 m%	10
BFC20	Vágott bazaltszál	20 m%	20
BFC30	Vágott bazaltszál	30 m%	30
BFWF1	Bazaltszövet	1 réteg	~40
BFWF3	Bazaltszövet	3 réteg	~40
BFWF6	Bazaltszövet	6 réteg	~40
BFH10	Bazalt hibrid (szövet+őrölt)	6 réteg, 10 m%	~43
BFH20	Bazalt hibrid (szövet+őrölt)	6 réteg, 20 m%	~46
BFH30	Bazalt hibrid (szövet+őrölt)	6 réteg, 30 m%	~49

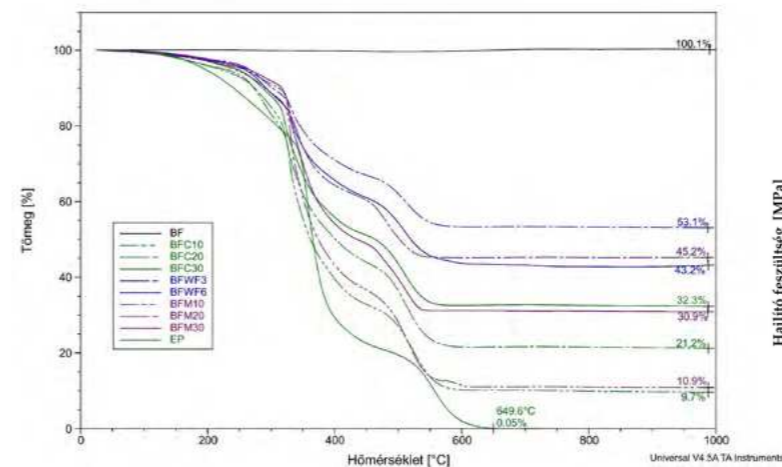
4. KÍSÉRLETI RÉSZ

Az alapanyagok, valamint az elkészített kompozit minták mechanikai jellemzőit 3 pontos hajlító, termikus jellemzőit termogravimetriai (TGA), a hőállóságot pedig lángterjedési (UL-94) és szűrőrángos vizsgálattal határoztuk meg.

Az alapanyagok és kompozitok termikus viselkedésének megismeréséhez elvégeztük a kompozit alapanyagainak, valamint az elkészített kompozitok termogravimetriai vizsgálatait (TGA). A mérés vizsgálati tartománya 50-1000 °C, a fűtési sebesség 20 °C/perc, a minták tömege 5±0,5 mg volt. A méréseket levegő atmoszférában TA Instruments TGA Q500-as gépen, az adatgyűjtést és kiértékelést TA Instruments Q series TGA és Universal Analyser programokkal végeztük el.

A mérések során rögzített TGA görbék összhangban voltak az irodalomkutatásban talált vizsgálatok eredményeivel [18]. A különböző struktúrájú bazaltszálat hő által okozott degradációja a mátrix anyag degradációjához képest elhanyagolható. A bomlási hőmérsékletet a gyanta degradációja határozza meg, ezek alapján 300 °C-nál nagyobb hőmérsékleten nem célszerű alkalmazni, mivel ebben a tartományban a mátrix anyag intenzíven degradálódni fog.

Az elkészült kompozit próbatestek TGA görbéit a 2. ábra mutatja. A szövet minták esetében szépen kirajzolódik az a tendencia, hogy

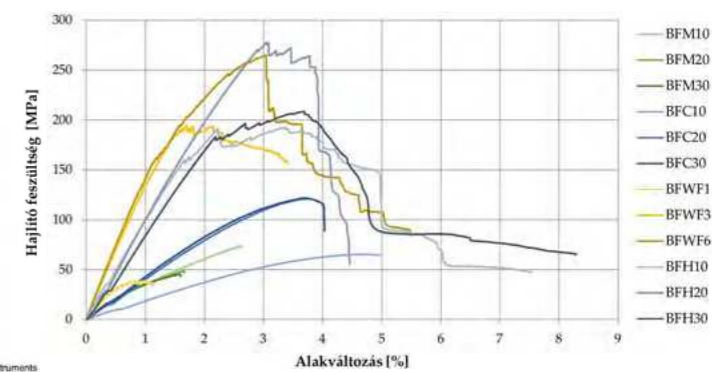


2. ábra: A különböző struktúrájú bazaltszálat tartalmazó kompozitok TGA görbéi

a rétegszámot növelve a szövet/gyanta aránya is nőni fog. A TGA mérés esetén a maradó mintatömeg az erősítőanyag mennyiségre enged következtetni. Ezt a várakozásunkat a BFM10 és a BFM30 minták eredményei igazolták, ugyanis 11%, illetve 31% volt a maradó tömegük (10 és 30 m% bazaltpor mennyiség esetén) a minta eredeti tömegéhez viszonyítva. A BFM20 minta maradó tömege ezzel szemben a vártnál kétszer magasabb, 45% lett. Ennek oka a korábban is említett eloszlottság nehézségei, a TGA mintavételei helyén a bazaltpor lokálisan feldúsult állapotban volt jelen. Szövetek esetében ezek a következtetések azért nem vonhatóak le, mivel a szükséges mintatömeg túlságosan kicsi ahhoz, hogy a teljes struktúrát megfelelően reprezentálja. A vágott szálas minták esetén az eredeti mennyiségnek megfelelő maradó tömeg értéket vettek fel a mérés végén.

A 3 pontos hajlító vizsgálatokat az MSZ-EN-ISO 14125:1999 szabvány alapján 10 mm széles próbatesteken Zwick Z005 típusú gépen 5 kN-os mérőcellával végeztük el. Az alátámasztási távolság minden esetben 64 mm volt. Minden anyagból 5-5 próbatestet vizsgáltunk szobahőmérsékleten. A mérés során rögzített jellegzetes görbéket a 3. ábra, a számított eredményeket a 4-5. ábra mutatja.

A BFM minták mechanikai tulajdonságai kisebb szórást mutatnak az erősítőanyag mennyiségének függvényében, mint a szövettel erősített kompozit próbatestek. Megfigyelhető, hogy a por mennyiségének növelésével az anyag ridegebben viselkedik, kisebb lehajlást regisztráltunk a mérések során. Fontos megemlíteni, hogy az őrölt bazaltszál tartalmú mintákban különböző eredetű inhomogenitásokat találtunk. Ezek elsősorban két csoportba oszthatóak: egyrészt az őrölt szálok eloszlottságának nehézsége miatt kialakult aggregátumok, amelyek feszültséggyűjtő helyekként viselkedhettek, másrészt légbuborékok is maradtak az anyagban. Mivel a mintákat nem vákuum alatt öntöttük, ezért a légbuborékok nem tudtak távozni a kompozitból, és az így megmaradt légzárványok hasonlóan repedések kiindulásaként szolgálhattak. A reprezentatív eredmények érdekében a próbatesteket a minták különböző részeiből képeztük. Az előbbieket támasztja alá az a megfigyelés is, hogy a próbatestek jellemzően több mint 2 darabra törtek, valamint a tönkremenetel nem feltétlenül a hajlítási pontban ment végbe. A porral töltött próbatestek tönkremenetelénél nem volt megfigyelhető a szövetek esetén hallható pattogás, illetve a felületi struktúra változása. A repedésterjedés



3. ábra: A különböző struktúrájú bazaltszálat tartalmazó kompozitok jellegzetes hajlítógörbéi

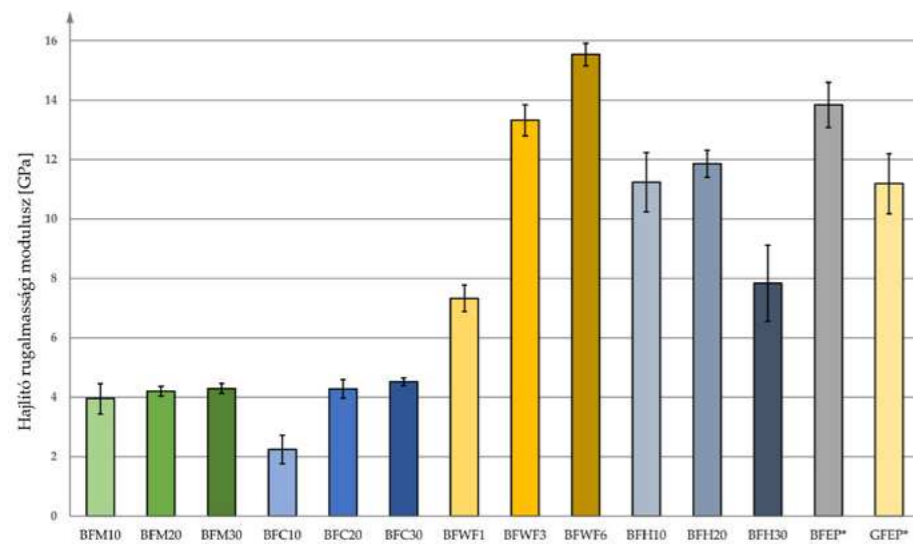
és törés folyamata hirtelen következett be, a töretfelületek pedig rideg viselkedést mutattak. Az eddigi eredmények alapján az őrölt szálok nem javították szignifikánsan a mátrixanyag mechanikai tulajdonságait, valamint a feldolgozási nehézségek az alkalmazás korlátait jelenthetik.

A vágott bazaltszálas mintáknál is nehézséget okozott a szálok homogén elosztása a mátrixban. Ez egyszerű szemrevételezéssel is igazolható volt, ugyanis fény felé tartva az elkészült lapokat láthatóvá vált, hogy a szálok szigeteket képeztek. A próbatestek jellemzően nem a hajlítási pontban törtek el, hanem valamely feszültséggyűjtő helyen. A vágott szálas próbatestek hajlítását jellemzően pattogó hanghatások kísérték. A kompozitok károsodása során általában a mátrix töredezés és a szálkihúzó okoz ilyen hanghatásokat. Ezt a próbatestek szemrevételezése is igazolta, ugyanis a töretfelületből a vágott szálok kilógtak és felületüket nem fedte a mátrix anyag.

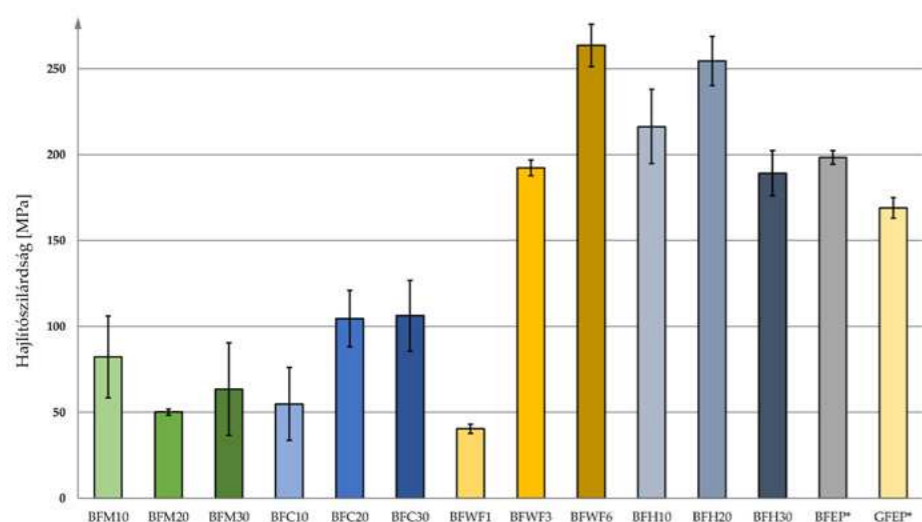
A szövetet tartalmazó minták (BFWF, BFH) görbéi véletlenül szabálytalan tönkremeneteli jellegű mutatókat mutatnak, ami kompozit struktúrára jellemző tönkremenetellel magyarázható. A tönkremenetel nem következik be hirtelen, hanem egy időben elnyújtott folyamat. Legelőször a felületen található epoxi réteg mutat elváltozásokat, az anyaga megrepedezik, felülete pedig világosabbá válik. A látható elváltozásokon kívül hallható változások is végbemennek, ezek a delaminációra, a szálkihúzó-dásra, a szövet és a gyanta tönkremenetelére jellemző változások. Annak ellenére, hogy nem történik hirtelen tönkremenetel, a kompozit szerkezet elveszíti terhelésviselő tulajdonságát.

A szövet erősítésű kompozitok egyes mérési sorozatain belül a legkisebb és a legnagyobb hajlítószilárdság (σ_M) értékek között mindössze 10-15%-os eltérést tapasztaltunk, ezzel szemben a por töltésnél több esetben a minimális érték fele volt az azonos mintákon mért maximális értékeknek. Hasonlóan nagy szórást mutattak a rövid szálas minták is, igaz a száltartalom növelésével a szórás értéke is csökkent. Ebből következik, hogy a szövet erősítésű kompozit minták tulajdonságait biztosabban lehet becsülni egy tervezési folyamat során, mint a bazaltpor esetében. Ezek tudatában törekedni kell a porral vagy rövid szállal kevert epoxi kompozitok esetében a megfelelő eloszlottságra.

Az elkészített mintáink lángterjedési sebességének meghatározására az UL-94 vizsgálaton alapuló mérésorozatot végeztük el. Jelen mérésnél nem a szabványnak való megfelelés, éghetőségi

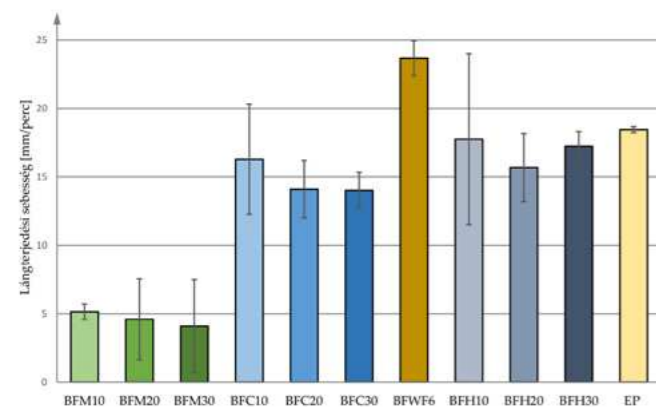


4. ábra: A hajlító rugalmassági modulusz értékei különböző erősítésű kompozit esetén (*szakirodalmi adat)



5. ábra: A hajlítószilárdság értékei különböző erősítésű kompozit esetén (*szakirodalmi adat)

osztályba sorolás volt az elsődleges célunk, hanem annak a vizsgálat, hogy a különböző struktúrájú és mennyiségű bazaltszál hozzáadás hogyan befolyásolja az epoxi gyanta mátrixú kompozit minták égési tulajdonságait. A méréshez használt minták 10 mm szélességűek és 125 mm hosszúságúak voltak. A mintákon a lánggyújtás helyétől számolva 25 és 100 mm távolságban jelzést



6. ábra: A különböző struktúrájú bazaltszálakat tartalmazó kompozitok lángterjedési sebességei

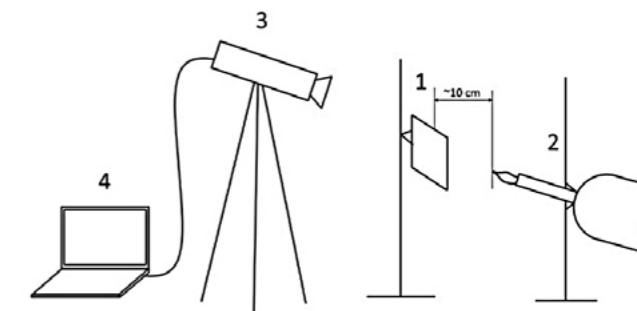
rajzoltunk. A próbatesteket vízszintesen fogtuk be az égési vizsgálatához. A Bunsen égő lángját 30 s-ig, vagy az 1. jelzés eléréséig tartottuk a minta meggyújtási szakaszán (első 25 mm). Az 1. jelzés elérésétől számoltuk az égési időt a 2. jelzés (100 mm) eléréséig, vagy a tűz, izzás megszűnéséig. A mérések alapján számított lángterjedési sebességeket a 6. ábra foglalja össze.

A 6. ábráról az eredmények összevethetősége érdekében kihagytuk a BFWF1 és BFWF3 anyagok mérési eredményeit, ugyanis a kis rétegszám miatt ezek lángterjedési sebessége nagyságrendekkel meghaladta a többi anyag típus mért értékeit. A BFWF6 anyag esetén így is számottevő a lángterjedés, amely a „kanóceffektussal” magyarázható, ugyanis ilyenkor a szövetben elhelyezkedő szálak hossza mentén felgyorsul a lángterjedés, a rétegek közötti mátrixanyag gyorsan kiég. A többrétegű szövet minták a gyanta kiegészését követően megőrizték struktúrájukat, csak az egyes rétegek váltak el egymástól. A bazaltport tartalmazó minták többségében az önkioltás jelenségét mutatták, a láng a két jelzés közötti szakaszon kialudt. Fontos megjegyezni, hogy ezeknél a mintáknál – a szövetrel erősített kompozitokkal ellentétben – az elégett szakasz szerkezete jelentősen megrongálódott, több esetben égés közben jelentős füstképződés mellett csepegést is tapasztunk, ami egy valós tüzesetnél veszélyes lehet, új területeket gyújthat meg. A bazaltpor

mennyiségének növelésével a csepegés ritkább és kisebb intenzitású volt. A vágott szálak minták a struktúrájukat megőrizték, azonban mindegyik jelentősen lehajlott, megtört (nagyságrendileg 60-90°-ban hajlott le). Ez azt jelenti, hogy tűz esetén a test nem esik ugyan darabokra és nem csepeg, de nagyobb terhelés hatására kettétörhet. Ezenfelül a vágott szálak minták esetében alkalmi szikrázást és izzást figyeltünk meg. A mérések alapján megállapítható, hogy a kompozit bazalt tartalmának növelése jellemzően csökkentette a kompozitok lángterjedési sebességét, viszont ennek mértéke függött az alkalmazott struktúrától is, ugyanis a rövidszálak minták esetén a száltartalom növelése nem okozott szignifikáns változást.

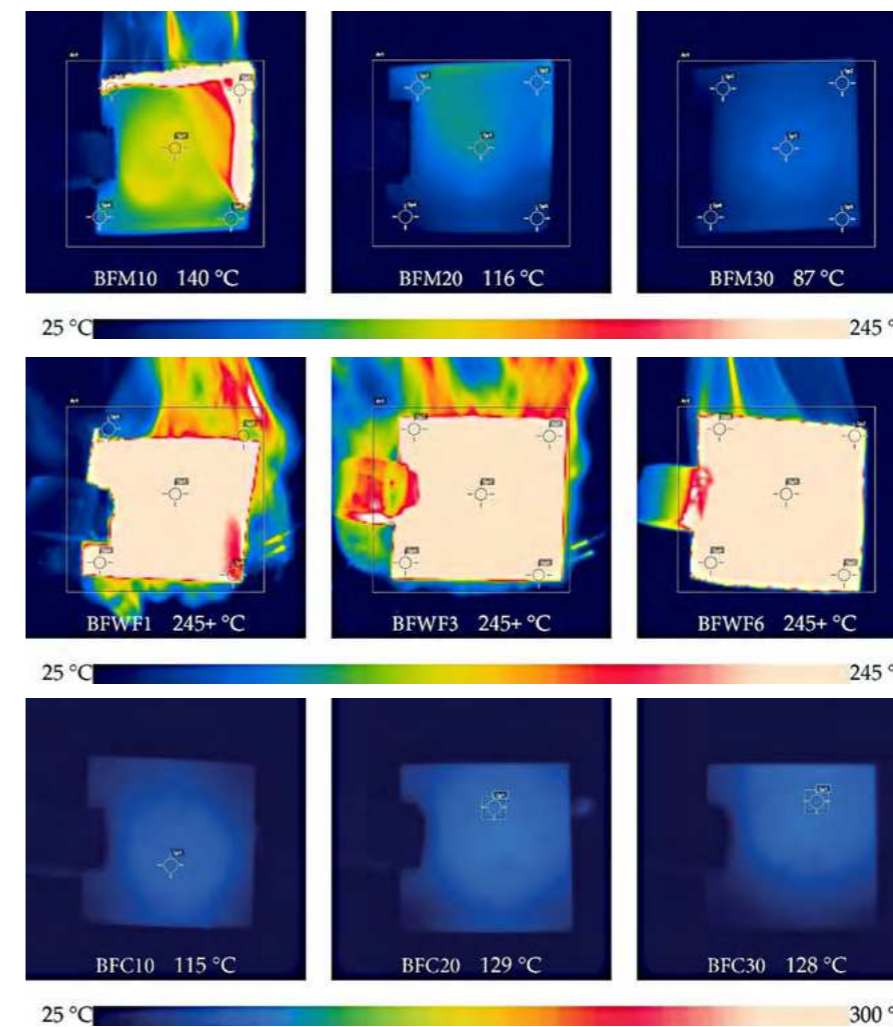
A szúrólángos vizsgálat során a célunk az volt, hogy a Landucci és társai [17] által végzett vizsgálathoz hasonlóan, a készített próbatestek hőgátló képességét vizsgáljuk. A kísérleteket 80 mm x 80 mm-re vágott próbatesteken végeztük el. A vizsgálatban gázfáklya segítségével, szúrólánggal támadtuk a lángtól 100 mm-re befogott próbatestet. A próbatestet hátoldalát FLIR A325sc hőkamerával figyeltük meg és a rögzített képet a hőkamera saját szoftverével dolgoztuk fel. A mérési elrendezést a 7. ábra mutatja be.

A szúrólángos vizsgálatok eredményeit a 8-10. ábra foglalja össze. A tisztán szövet erősítésű próbatestek mind hasonlóan viselkedtek, a gyújtást követően a mátrixanyag hamar lángra kapott és teljes vastagságban elégett, a hőterjedést nem gátolta. A gyanta elégeése után a bazaltszövet maradt csak hátra. A bazaltporral erősített próbatestek a szövetes próbatestektől jelentősen



7. ábra: A szúrólángos mérési elrendezés sematikus vázlata

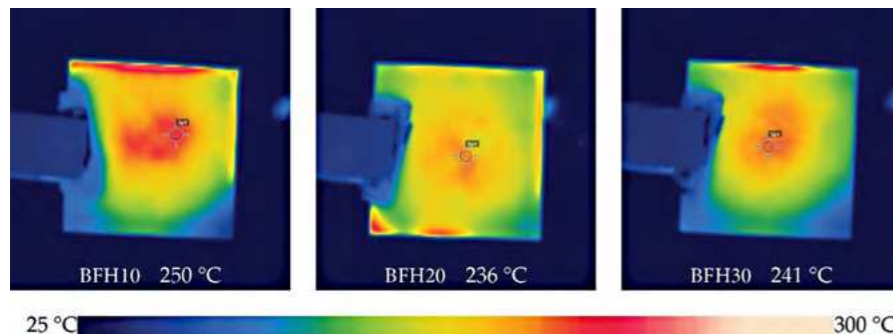
eltérően viselkedtek. A 10 m% mennyiségben bazaltport tartalmazó próbatestet a behatás 30 másodperces időtartama alatt nagy mértékben vetemedett, a hátoldal felmelegedése lelassult. Ennek ellenére a próbatestet felgyulladt, majd lassan teljesen végigégett (hasonlóan az egyik UL-94 jellegű vizsgálat eredményéhez). A 20 m% bazaltport tartalmazó próbatestet még jobban gátolta a hőterjedést, a gyújtás során ez a próbatestet is felgyulladt. A szúróláng lekapcsolása után a tűz mérete folyamatosan csökkent, hevese égés nem következett be, így egy kézlegyintéssel könnyen eloltható volt. Az eloltás után a próbatestet hátoldala tovább melegedett egészen 110-120 °C-ig, ezt követően elkezdett visszahűlni. Pár perces hűlési idő után a gyújtást megismételtük, ekkor a próbatestet hasonlóan viselkedett, gátolta a hőterjedést és a láng növekedését. A láng méretének lecsökkenése után



8. ábra: Az örölt szálak próbatestek szúrólángos kísérlete, legmagasabb hőmérséklet

9. ábra: A szövetet tartalmazó próbatestek szúrólángos kísérlete, legmagasabb hőmérséklet

10. ábra: A rövid szálak próbatestek szúrólángos kísérlete, legmagasabb hőmérséklet



11. ábra: Hibrid próbatestek szűrőlángos kísérlete, legmagasabb hőmérséklet

az előzőhöz hasonlóan könnyen eloltható volt. A 30 m% mennyiségben bazaltport tartalmazó minta kedvezőbben viselkedett, mint a 20 m%-os, a hőterjedést és a lángterjedést még jobban gátolta, az első gyújtás után könnyen eloltható volt, a második gyújtás után a próbatest kioltotta magát és megrepedt. A vágott szálak minták mind hasonlóan viselkedtek, a hőterjedést jelentősen gátolták, felgyulladtak, de könnyen elolthatóak voltak.

Az eredmények azt mutatták, hogy hibrid megoldásokat is érdemes lehet vizsgálni. Ezért úgy döntöttünk, hogy 6 réteg bazaltszövetet és 30 m/m% őrölt bazaltszálakat tartalmazó hibrid mintákat fogunk készíteni. Az őrölt szálakat a korábban már ismertetett módon eloszlattuk a gyantában és ezt a keveréket használtuk fel a bazaltszövet kézi laminálással történő impregnálásra. Az elkészített hibrid mintákkal kiegészített lángterjedési sebesség vizsgálat eredményeit a 11. ábra foglalja össze.

5. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS TOVÁBBI MEGOLDÁSRA VÁRÓ FELADATOK

Munkánk során a természetes eredetű bazaltszálak alkalmazását vizsgáltuk égésgátló kompozitok előállításához. A bazaltszál erősített kompozitok mechanikai tulajdonságai összemérhetőek a jelenleg is alkalmazott, tömegesen elterjedt hasonló szerkezeti anyagok tulajdonságaival. Az erősítőanyag vulkanikus eredete lehetőséget adhat arra, hogy külön égésgátló hozzáadása nélkül láng- és hőálló funkcióval ellátott szerkezeti anyagokat hozzunk létre. Bemutattuk a bazaltszál iparban már elterjedt alkalmazásait, kifejezett hangsúlyt fektettünk az emelt hőmérsékletű alkalmazásokra irányuló kutatások bemutatására. A három különböző struktúrából általunk előállított kompozit mintákon TGA, három pontos hajlítók, horizontális UL-94 és hőkamerás szűrőlángos méréseket végeztünk. A vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a bazaltszál epoxi mátrixba történő adalékolásával a tűzállósági jellemzők, a szálartalomtól függően, jelentősen javulnak. A szövet struktúra az elemek alaktartását tekintve előnyös erősítés, azonban a lángterjedési sebesség itt viszonylag magas. Ezzel szemben a bazaltpor töltés jelentősen javítja a tűzállósági tulajdonságokat, önkilásra is képes, azonban a szerkezete nagymértékben roncsolódik hő hatására. Mindezt összevetve a megfelelő irány a kettő együttes, hibrid kompozitban történő alkalmazása lenne, amitől kis lángterjedési sebesség mellett a struktúra megmaradását várjuk. A továbbiakban szeretnénk bazalt és más erősítőanyagokkal alkotott hibrid kompozitokon is elvégezni méréseinket, valamint vizsgálnánk az égésgátlás fokozásának lehetőségeit nano-adalékok és felületkezelő szerek hozzáadásával.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] <https://www.marketsandmarkets.com> (2021.05.21)
- [2] Perevozchikova, B. V.; Pisciotto, A.; Osovetsky, B. M.: Quality Evaluation of the Kuluevskaya Basalt Outcrop for the Production of Mineral Fiber, Southern Urals, Russia, Energy Procedia, 59, 309-314 (2014).
- [3] Borshakova, N. V.; Kostenok, O. M.: Thermal conductivity of basalt fiber materials, Heat Engineering, 36, 331-332 (1995).
- [4] Deák, T.: Bazaltszál – az üvegszál vetélytársa, Quattroplast Műanyagipari Szemle, 3, 23-28 (2008).
- [5] Tatarintseva, O. S.; Khodakova, N. N.: Obtaining basaltic continuous and staple fibers from rocks in Krasnodar Krai, Glass and Ceramics, 67, 3-6 (2010).
- [6] Gur'ev, V. V.; Neproschin, E. I.; Mostovoi, G. E.: The effect of basalt fiber production technology on mechanical properties of fiber, Journal of Glass and Ceramics, 58, 62-65 (2001).
- [7] Czigány, T.; Vad, J.; Pölöskei, K.: Basalt fiber as a reinforcement of polymer composites, Periodica Polytechnica Mechanical Engineering, 49, 3-14 (2005).
- [8] Adole, O. et al.: Basalt fibre-reinforced high density polyethylene composite development using the twin screw extrusion process, Polymer Testing, 91, (2020).
- [9] Zhang, W.; Tang, W. et al.: Ultimate Strength Analysis of Ship Hulls of Continuous Basalt Fiber Composite Materials, Advanced Materials Research, 150, 736-740 (2011).
- [10] Meyyappan, P. L.; Jemimah Carmichael, M.: Studies on strength properties of basalt fibre reinforced concrete, Materials Today: Proceedings, 43, 2105-2108 (2021).
- [11] Duic, J.; Kenno, S.; Das, K.: Performance of concrete beams reinforced with basalt fibre composite rebar, Construction and Building Materials, 176, 470-481 (2018).
- [12] Inman, M.; Thorhallsson, E. R.; Azrague, K.: A Mechanical and Environmental assessment and comparison of basalt fibre reinforced polymer (BFRP) rebar and steel rebar in concrete beams, Energy Procedia, 111, 31-40 (2017).
- [13] Mokhena, T. C.; Sadiku, E. R.; Mochane, M. J.; Ray, S. S.: Mechanical properties of fire retardant wood-plastic composites: A review, eXPRESS Polymer Letters, 15, 744-780 (2021).
- [14] Hao, L.; Yu, W.: Evaluation of thermal protective performance of basalt fiber nonwoven fabrics, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 100, 551-555 (2010).
- [15] Matykiewicz, D.; Barczewski, M. et al.: Hybrid effects of basalt fibers and basalt powder on thermomechanical properties of epoxy composites, Composites Part B: Engineering, 125, 157-164 (2017).
- [16] Zhu, H.; Wu, G.; Zhang, L.; Zhang, J.; Hui, D.: Experimental study on the fire resistance of RC beams strengthened with near-surface-mounted high-Tg BFRP bars, Composites Part B: Engineering, 60, 680-687 (2014).
- [17] Landucci, G. et al.: Design and testing of innovative materials for passive fire protection, Fire Safety Journal, 44, 1103-1109 (2009).
- [18] Matykiewicz, D.; Barczewski, M.; Michatowski, S.: Basalt powder as an eco friendly filler for epoxy composites, thermal and thermomechanical properties assessment, Composites Part B: Engineering, 164, 272-279 (2019).

A jövőhöz vezető út itt van.



AUTOMOTIVE HUNGARY
9. Nemzetközi járműipari beszállítói szakkiállítás

2021. november 16-18.

GL hungexpo

AUTOMOTIVE HUNGARY

a HUNGEXPO Budapest Kongresszusi és Kiállítási Központban

Legyen Ön is kiállító a magyar és a középkelet-európai járműipart bemutató komplex fórumon, ahol az autógyártás teljes spektruma jelen van, a formatervezéstől a gyártásig, lehetőséget teremtve a meglévő kapcsolatok ápolására és új üzleti kapcsolatok építésére!

FÓKUSZPONTOK:

- DIREKT és INDIREKT beszállítók
- „ÜZLET, TUDOMÁNY, KARRIER” tematikai pontokra épülő programok
- Automotive Hungary TechTogether verseny
- Beszállítói fórumok
- Magas színvonalú szakmai konferenciák
- Mérnöki továbbképzések

Bővebb információ és kiállítói jelentkezés:

www.automotivexpo.hu, automotivexpo@hungexpo.hu

MAGE
MAGYAR DÉPJÁRMŰIPARI EGYESÜLET

MAJOSZ
MAGYAR JÁRMŰALKATRESZGYÁRTÓK ORSZÁGOS SZÖVETSEGE

hipa
HUNGARIAN INSTITUTE OF PROFESSIONAL ASSOCIATION