# Kutatási beszámoló

## Kompozithuzalok mechanikai és villamos tulajdonságainak vizsgálata

Készült a Pro Progressio Alapítvány és az E-ON Hungária ZRt. támogatásával

Készítette:

Orbulov Imre Norbert, PhD

egyetemi adjunktus

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Gépészmérnöki Kar

Anyagtudomány és Technológia Tanszék

2012. augusztus 31.

## Bevezetés

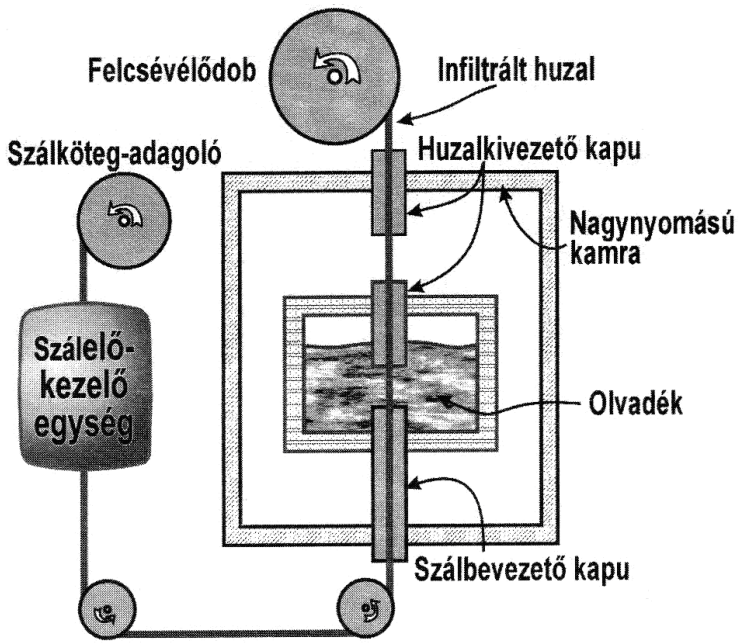
A kompozithuzalok a hosszúszál-erősítéses kompozitok családjába tartozó anyagok. Jellemzően ~60 térfogat százalék (tf%) erősítőanyagból és 40 tf% mátrixanyagból állnak. A kompozithuzalokat nagy terhelhetőség jellemzi, mivel szálirányban különösen nagy szakítószilárdsággal rendelkeznek az erősítőanyaguknak köszönhetően. Jelen kutatási munka célja a fémmátrixú kompozithuzalok mechanikai és villamos tulajdonságainak felmérése volt, annak érdekében, hogy rávilágítsunk a fémmátrixú kompozithuzalok távvezetékekben történő, teherviselő (és egyben vezetőként funkcionáló) alkalmazásának lehetőségére. A nagy szakítószilárdságnak és az újonnan felfedezett alakíthatóságuknak köszönhetően feltárásra került egy újabb alkalmazási lehetőség is, az öntvénymegerősítés, ami röviden ugyan, de szintén megemlítésre kerül jelen összefoglaló beszámolóban.

Az eredeti célkitűzésemet az indukálta, hogy napjainkban az energetikai rendszerek optimálása, költséghatékonyabb kivitelezése, akár a hagyományos, akár a megújuló energiaforrások kihasználását illetően rendkívüli fontossággal bír. Ennek egyik fontos lépése az új, korszerű anyagok alkalmazásában rejlik. A fémmátrixú kompozithuzalok a fenti kitételnek felelnek meg. Az erősítőanyag szerepét $Al_2O_3$ kerámia szálak töltik be, amelyek szakítószilárdsága nagy, hőtágulása kicsi, kémiai stabilitása kiváló. A mátrixanyag alumínium, amely könnyű és jó elektromos vezető. A két anyag kompozithuzalként történő egyesítésével egy olyan új anyag jön létre, amely nagyszilárdságú, könnyű, sűrűsége kicsi, villamosan vezető, hőtágulása kicsi, közel zérus. Amennyiben az alumínium huzalra valamilyen technológiával (akár koextrúzióval, akár öntéses eljárással) újabb, jól vezető alumínium réteget (4-5 mm, de akár vastagabb is) visznek fel, a kompozithuzalra többtengelyű nyomófeszültség fog hatni, a huzal jól alakíthatóvá és nem utolsó sorban sodorhatóvá válik. Így a szokványos kábelgyártó eljárásokkal állítható elő nagy hatékonyságú távvezeték. A fenti tulajdonságoknak megfelelően a kompozithuzalok ideálisak lehetnek nagyfeszültségű távvezetékek teherviselő magjának. Már meglévő nyomvonalon történő alkalmazásukkal hosszútávon csökkenthető az áramvezető kábelek folyométersúlya, így olcsóbb oszlopok építhetők, vagy a már meglévő oszlopokra olyan kábelek telepíthetők, melyek hasznos áramvezető keresztmetszete nagyobb. Emellett a vezetékek belógása is jóval kisebb lesz, és a belógás ingadozása a téli és nyári üzemállapotok között is kisebb lesz. Új nyomvonalon történő alkalmazás esetén nagyobb oszlopközöket lehet kialakítani, így a nyomvonal beruházási költsége csökken.

## A kompozithuzalok előállítása

A fémmátrixú kompozithuzalok előállítása egy speciális technológiával, a folyamatos nyomásos infiltrálással valósítható meg. A technológia kifejlesztése Prof. Blücher József nevéhez fűződik, aki Tanszékünk oktatójaként működött, ma pedig tanácsadói minőségben van jelen a kompozithuzalokkal foglalkozó laborban. A nyomásos infiltrálás vázlatát az 1. ábra, az előállított kompozithuzalokat a 2. ábra mutatja be. Az eljárás menete a következő: az erősítőanyagokat dobokra csévéljük és elhelyezzük egy arra alkalmas tároló állványon, ez a szálköteg adagoló. Erősítőanyagként $Al_2O_3$+$SiO_2$ összetételű szálakat alkalmaztunk, amelyek a 3M cégtől származnak Nextel 440 márkanéven. A szálakat csévékben szállítják, minden cséve 750 darab elemi szálat tartalmaz, melyek átmérője a 10 µm-es tartományba esik. Az elemi szálak szakítószilárdsága 2000 MPa körüli értéket képvisel. A kereskedelemből vásárolt $Al_2O_3$ szálak felületükön polimer bevonattal rendelkeznek, amelyek a polimer mátrixanyagokhoz való kötésüket hivatottak erősíteni. Mivel a gyártás során

fémmátrixú kompozitokat állítunk elő, ez a bevonat felesleges (sőt, a fellépő reakciók miatt kifejezetten káros), ezért ezt egy szálkezelő egységben (gyakorlatilag egy alagút kemencében) eltávolítjuk (900 °C-on leégetjük).




1. ábra A folyamatos nyomásos infiltrálás vázlata

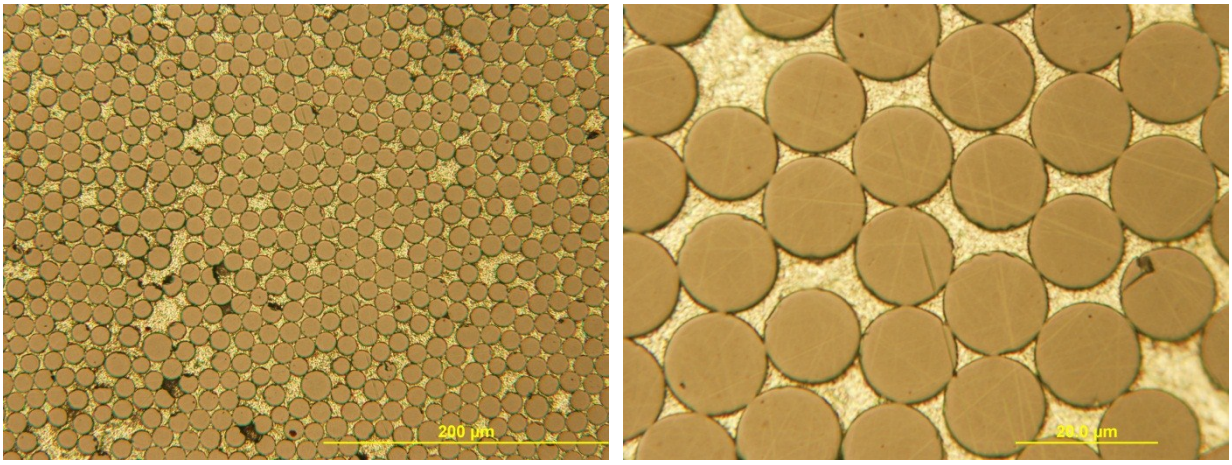
2. ábra A berendezéssel előállított kompozithuzalok

Ezután az előkezelt szálköteg belép a nagynyomású kamrába, amelyben kontrollált körülmények között megolvasztott alumíniummal találkozik egy grafit tégelyben. Az alumínium a fémmátrixú kompozithuzal mátrixanyaga. A kamrában lévő argon gáznyomás és a kamra körül lévő légköri nyomás miatt a szálbevezető kapun nyomáskülönbség alakul ki, ami arra kényszeríti az olvadt alumíniumot, hogy az elemi szálak közé hatoljon és így megvalósuljon az infiltráció. Az infiltrált elemi szál köteg a huzalkivezető kapukon keresztül távozik. Ezek elsődleges szerepe az argon gázszivárgás csökkentése, másodlagos feladata a kompozithuzal végső átmérőjének beállítása. Az infiltráció sikerességére befolyással van a megfelelő argon gáznyomás, ezért munkánk során különböző infiltráló nyomásokkal állítottunk elő 1, illetve 2 mm végső átmérőjű fémmátrixú kompozithuzalokat (lásd 2. ábra). Ezek a huzalok képezték további vizsgálataink tárgyát.

## A kompozithuzalok mikroszerkezeti vizsgálata

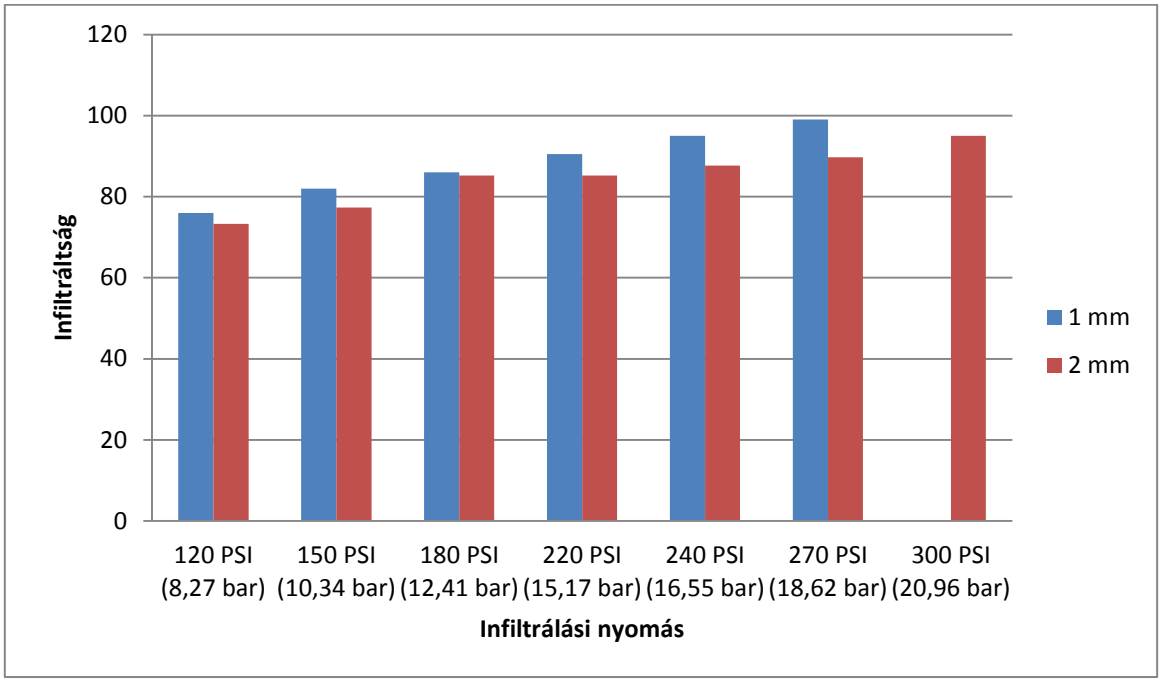
A kompozithuzalok mikroszerkezeti vizsgálatát fénymikroszkóp (Olympus PMG-3) és elektronmikroszkóp (Phillips XL30) segítségével végeztük el. Az elektronmikroszkóphoz egy EDAX Genesis gyártmányú energiadiszperziv röntgen spektrométert (EDS) is csatoltunk az összetétel vizsgálatok érdekében. A legfontosabb eredmény az infiltráltság minőségére vonatkozik. Ezt fénymikroszkópi úton lehet a legkönnyebben vizsgálni, amihez a kompozithuzalokbók csiszolatokat kellett előállítani. Egy, a vizsgálatra előkészített fémmátrixú kompozithuzal fénymikroszkópi képét mutatja a 3. ábra. A baloldali, kisebb nagyítású képen jól megfigyelhető, hogy bizonyos helyeken az infiltráció nem volt tökéletes, maradtak elégtelenül infiltrált részek (fekete foltok az elemi szálak között), de összességében az infiltráció jónak mondható. A jobb oldali ábrán megfigyelhető, hogy a jól infiltrált helyeken az alumínium a szálak között lévő legkisebb helyekre is behatolt, teljesen

körülölelve és beágyazva az erősítőanyagot. Ez elengedhetetlen feltétele a jó terhelésátadásnak és a jó mechanikai tulajdonságoknak.



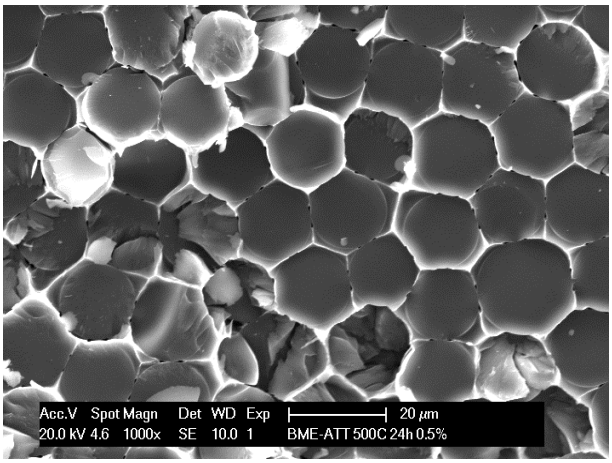

3. ábra Jellemző fénymikroszkópi felvételek egy 1 mm átmérőjű fémmátrixú kompozithuzal keresztmetszetéről

Az infiltráltság megfelelőségét azzal lehet a legjobban leírni, hogy az alumínium által a szálak között elfoglalható elméleti területből hány százalékot tesz ki valójában az alumínium. Ezt az értéket mutatja a következő, 4. ábra oszlopdiagram formájában.

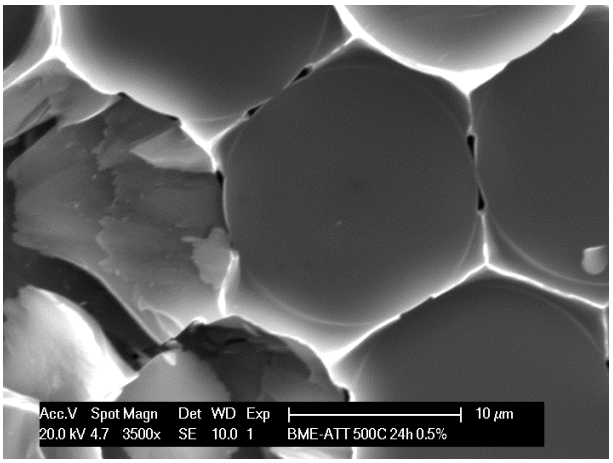



4. ábra Az infiltráltság mértéke az infiltrálási nyomás függvényében

A diagramon nyomon követhető, hogy a gyártani kívánt huzalok átmérőjétől függetlenül az infiltrálási nyomás növekedésével nőtt az infiltrált keresztmetszet mértéke is, vagyis az infiltráltság mértéke nőtt és így a fémmátrixú kompozithuzalok minősége javult. Néhány jellemző elektronmikroszkópi felvételt mutat be az 5. és a 6. ábra. Mindkét felvételen megfigyelhető, hogy az $Al_2O_3$ szálak abszolút ridegen, mindenféle képlékeny alakváltozás nélkül törtek el, míg a mátrixanyag alumínium viszonylag nagymértékű alakváltozást mutatva, képlékenyen viselkedett. A jobb oldali képen megfigyelhető, hogy az infiltráltság mértéke kielégítő, gyakorlatilag minden elemi szálat teljes egészében körbeölelt a mátrixanyag.

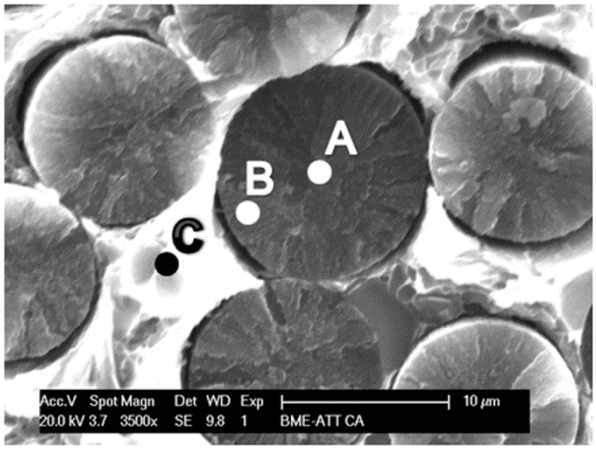



5. ábra 2 mm átmérőjű kompozithuzal keresztmetszetének töretfelülete, 1000-szeres nagyítás




6. ábra 2 mm átmérőjű kompozithuzal keresztmetszetének töretfelülete 3500-szoros nagyítás

Mivel előnyös lenne, ha a fémmátrixú kompozithuzalok a teherviselés mellett villamos vezetőként is funkcionálhatnának, ezért megvizsgáltuk annak lehetőségét, hogy miként lehetne kiváltani a fémmátrixú kompozithuzalokból a nem vezető $Al_2O_3$ erősítőanyagot. Arra jutottunk, hogy hasonló formában, hasonló, vagy jobb mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek a különféle szénszálak. Tömbi infiltrálási kísérleteket végeztünk erre az esetre is, a folyamatos infiltrálást az alumínium és a szén közötti nagyon kedvezőtlen nedvesítési viszonyok miatt – egyelőre – nem sikerült megoldanunk. Az előállított kompozihuzalokon EDS vizsgálatokat is végeztünk, annak tisztázása érdekében, hogy alakul-e ki valamilyen határfelületi réteg az alumínium és a szénszál-erősítés között. Ennek eredményét mutatja a 7. ábra és az 1. táblázat.




7. ábra EDS vizsgálati pontok elhelyezkedése a mintán

1. táblázat Kémiai összetétel a vizsgált pontokban

| | C | Al | Si | O |
|---|---|---|---|---|
| | tömeg% | | | |
| A | 87,4 | 9,21 | 0,85 | 2,59 |
| B | 81,1 | 16,6 | 0,91 | 1,36 |
| C | 15,1 | 80,1 | 4,79 | 0 |

A táblázatból kiolvasható, hogy a C pont környezetében gerjesztett, ~1 $\mu m^3$ térfogatú anyagban jelentős mennyiségű C volt megtalálható. Ez arra utal, hogy az alumínium és a szénszál kémiai reakcióba lépett egymással. A szakirodalom szerint ez a kémiai reakció alumínium karbid (Al4C3) vegyületet képez a szénszálak felületén. Az $Al_4C_3$ ágas-bogas struktúrában fejlődik a szénszál felületéről indulva. Ez a struktúra nagyon kedvezőtlen akkor, ha a kompozithuzal húzásnak van kitéve, mivel az ágak ekkor egyik végükön befogott tartókként viselkednek, hamar letörnek a szénszál felületéről, nemritkán eleve roncsolva magukat a szálakat, aminek következtében a szilárdság jelentősen csökken (egy kísérleti mintán 200 MPa szakítószilárdságot is mértünk, ami messze elmaradt a keverési szabály által jósolt ~1000-1200 MPa-os szilárdságtól). Nyomó igénybevétel

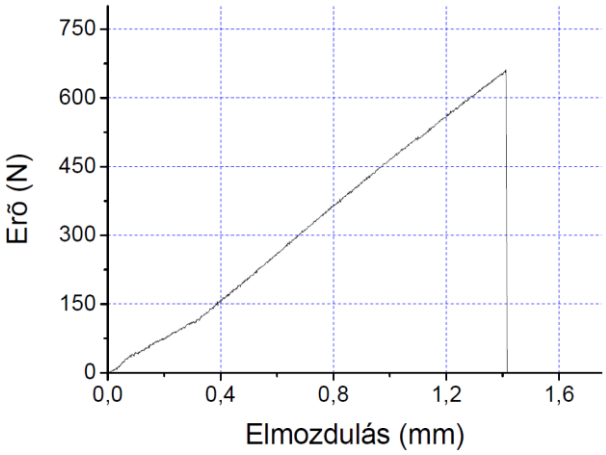
esetén azonban ezek a bokorszerű szerkezetek, struktúrák igyekeznek „egyben tartani” a kompozitokat, erős radiális ellenállást fejtenek ki az alakváltozás ellen és a szilárdságot jelentősen növelik.

## A kompozithuzalok szakítóvizsgálata

A szálirányú terhelhetőséget vizsgálandó a huzalokat szakítóvizsgálatnak vetettük alá. A szakítóvizsgálatokat egy MTS 810 típusú, univerzális anyagvizsgáló gépen végeztük el, az 1 mm átmérőjű huzalokon. A vizsgálatok sebessége 2 mm/min volt. A vizsgálatok során a fő problémát az jelentette, hogy miként fogjuk be a próbatesteket a szakítógép befogó egységébe anélkül, hogy a próbatestekben károsodást idéznénk elő. Ezt kiküszöbölendő kifejlesztettünk egy módszert, amelynek során a kompozithuzalokat egy réz csőben rögzítettük egy speciális, fogtechnikai műgyanta segítségével. Egy törött próbatestet mutat a speciális befogásokkal a 8. ábra.

8. ábra Speciális szakítóvizsgálati próbatest, törött állapotban

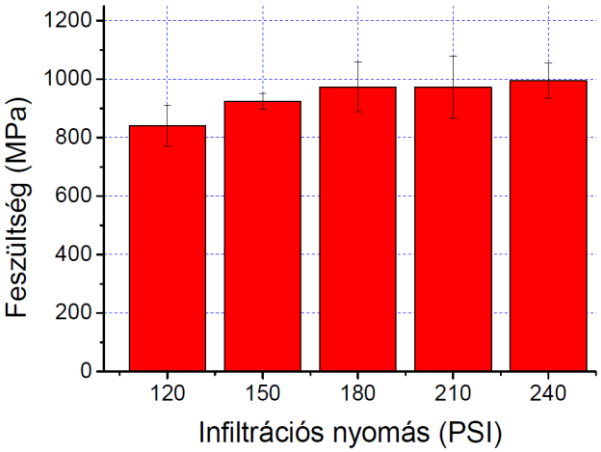
A szakítóvizsgálatok során rögzítettük az erő – elmozdulás görbéket. Eredményekként a maximális erőt (pontosabban feszültséget, vagyis a szakítószilárdságot) és az ehhez tartozó elmozdulást követtük nyomon. Egy tipikus szakítóvizsgálati erő – elmozdulás diagramot mutat a 9. ábra. Az ábrán megfigyelhető, hogy a próbatestek lényegében csak lineárisan rugalmas alakváltozást mutattak, majd egy maximális érték elérése után további képlékeny alakváltozás nélkül, ridegen törtek el.



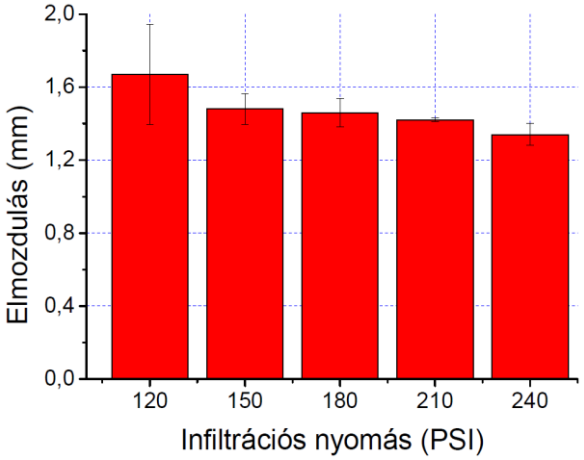

9. ábra Egy 210 PSI nyomással infiltrált kompozithuzal reprezentatív szakítódiagramja

Az eredményeket ez esetben is az infiltrálási nyomás függvényében követtük nyomon. A figyelt jellemzők változását mutatja a következő, 10. és 11. ábra. A szakítószilárdság változását ábrázoló diagramon jól megfigyelhető, hogy a szakítószilárdság az infiltrálási nyomás növelésével, vagyis átvetítve az alumínium kitöltöttségének növelésével nő és tart egy ~1000 MPa-os telítési értékhez, viszonylag kis szórásértékkel. Ez egy fontos technológiai jellemzőt mutat meg, miszerint nincs értelme a tökéletes infiltráltság érdekében az infiltrálási nyomást erősen megnövelni, mivel a vele nyerhető hozadék a felmerülő tömítési és egyéb technológiai problémák miatt elenyésző lesz. Az elmozdulást mutató diagramon nyomonkövethető, hogy a jobb infiltráltság erősebb terhelés átadást

valósít meg, ami egyre inkább az elemi erősítőanyag szálak irányába viszi el a kompozithuzalok tulajdonságait, vagyis erősebbek lesznek, ugyanakkor ridegebben is viselkednek, vagyis kisebb elmozdulások esetén is törnek.



10. ábra A szakítószilárdság változása az infiltrációs nyomás függvényében

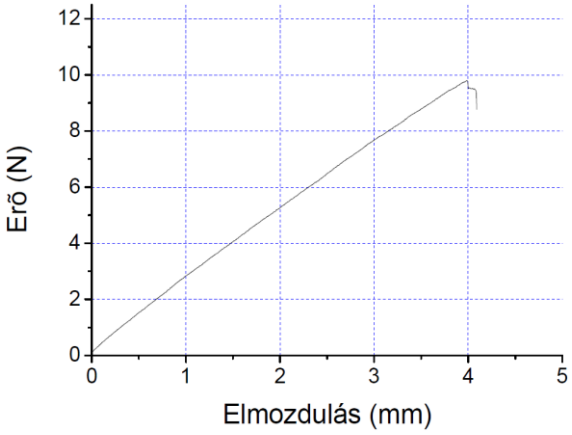


11. ábra A törésig tartó elmozdulás az infiltrációs nyomás függvényében

Összefoglalásul, az 1000 MPa-os szakítószilárdságot elérő kompozithuzalok villamos vezetőképességük miatt ideális teherviselő elemek lehetnek távvezeték sodronyokban.

## A kompozithuzalok hárompontos hajlítóvizsgálata

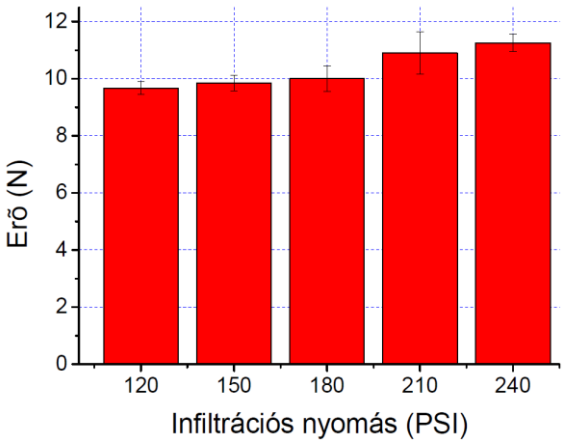
A várhatóan kis törőerők miatt a hajlítóvizsgálatokat egy Zwick Z005 típusú, 5 kN terhelhetőségű univerzális anyagvizsgáló gépen végeztem el. A hajlítás támaszköze 40 mm volt, a hajlítás ebessége pedig 5 mm/min. A próbatesteket törésig vizsgáltuk. Ennél a vizsgálatnál – a szakítóvizsgálattal ellentétben – a próbadarabokat nem kellett hosszasan előkészíteni, csak 55-60 mm-es darabokat törni belőlük, hogy a támaszon kis mértékben túlérjenek. Egy tipikus, rögzített erő – elmozdulás diagramot mutat be a 12. ábra.



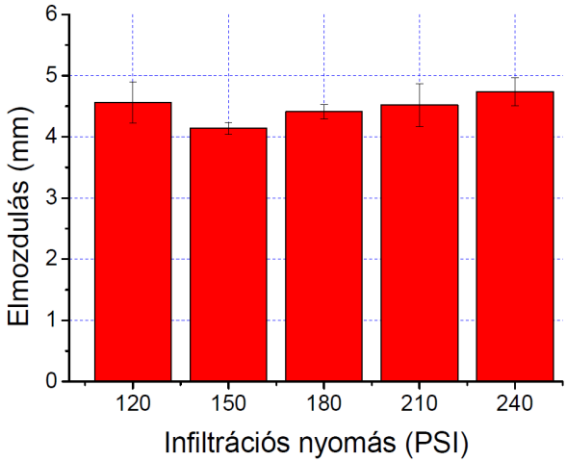
12. ábra Tipikus erő – elmodulás diagram 150 PSI nyomással infiltrált 1 mm átmérőjű huzal esetén

A nyomon követett erő és elmozdulás értékeket mutatja a 13. és 14. ábra. Az összesített eredményekből láthatjuk, hogy a huzalok ellenállásának és az infiltráció mértékének növekedése szinkronban van. A tönkremenetelhez vezető elmozdulás azonban nem ad ilyen egyértelmű eredményeket. Azzal lehet magyarázni a korreláció hiányát, hogy 150-240 PSI infiltrációs nyomással készült huzaloknál már érvényesül az egyre több alumínium mátrixanyag képlékenysége, a 120 PSI

infiltrációs nyomásnál gyártott próbatestnél pedig az alulinfiltráltság miatt sokkal inkább képlékenyen törik a huzal, mint a nagyobb nyomás alatt készült huzaloknál.



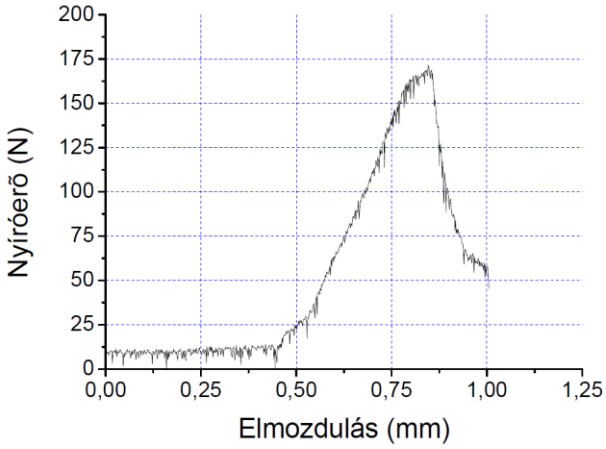
13. ábra Maximális hajlítóerő értékek



14. ábra A töréshez tartozó elmozdulás (lehajlás) értékek

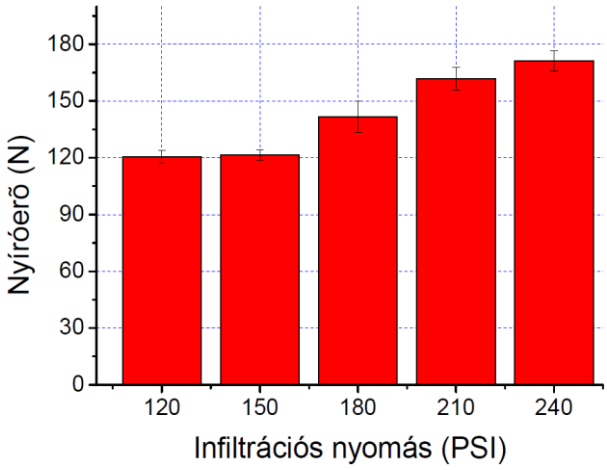
## A kompozithuzalok nyíróvizsgálata

Ennek a vizsgálatnak előkészítése nem volt túl bonyolult, a kompozithuzalokat csak darabolni kellett legalább olyan hosszúra, hogy a szerszámba beleférjenek. Ezt megelőzően azonban le kellett gyártanom egy huzalnyíró szerszámot, ami a tanszéken található szakítógéppel kompatibilis. Ezt a szerszámot egy tömör acélhengerből vágták ki, és egy furatot készítettek bele, amibe a kompozithuzalokat helyeztem. A nyírás 5 mm/min sebességgel történt. A mérések során ismét az erő – elmozdulás diagramokat rögzítettem (15. ábra).



15. ábra 240 PSI nyomással infiltrált 1 mm-es huzal nyíródiagramja

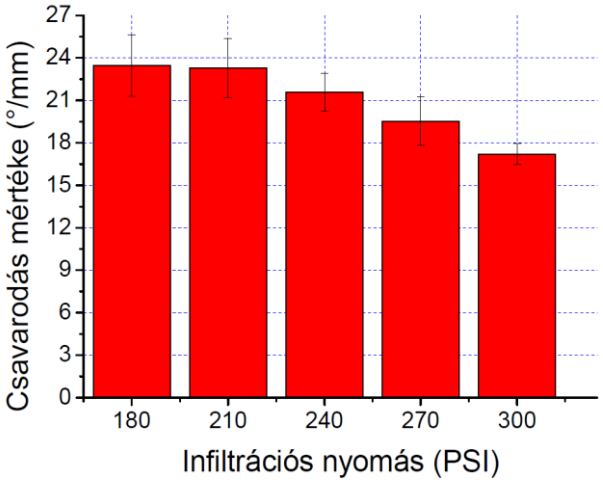
A 15. ábra görbéjének általános bizonytalansága abból adódhat, hogy a huzalokban található erősítőszálak szakadása nem egyszerre történt. Ez a mérés megbízhatóságát még inkább növeli, hiszen a szórásértékek kis tartományát is nagyjából lefedi ez a fajta bizonytalanság. A mérések során nyomon követett fő jellemző a maximális nyíróerő volt. Ezt mutatja az infiltrálási nyomás függvényében a 16. ábra. Az összesített diagramon (16. ábra) jól látszik, hogy az infiltrációs nyomás növekedésével a nyíróerő is folyamatosan nőtt. Ez alól csak a 120 és 150 PSI nyomással infiltrált huzalok képeznek némileg kivételt, hiszen a növekedés mértéke ott nem akkora, mint a többi nyomáson infiltrált huzalnál.



16. ábra A nyíróerő az infiltrációs nyomás függvényében

## A kompozithuzalok csavarovizsgálata

A kompozithuzalokat a sodronyok sodrása alatt és üzemközben, a sodronyok kilengése miatt csavaró igénybevétel is érheti, ezért célszerű megvizsgálni, hogy miként viselkednek ilyen jellegű terhelés hatása alatt. A vizsgálatot nagyon egyszerű eszközökkel, szubjektív módon végeztem el. A kompozithuzalt egy satu segítségével fogtam be, elfordításukat egy fogóval végeztem. Mielőtt azonban megfogtam a huzalt, enyhén laposra nyomtam a fogóval megfogandó végét. Ezzel elég sok selejtem adódott, mivel a huzalok többsége sajnos a befogásnál szakadt. Így csak azokkal számoltam, amelyek középen, vagy a befogáshoz képest más helyen törtek el a csavarás hatására. Nagyon fontos megjegyezni azt is, hogy csak a csavarodás mértékét mértem, a hozzá tartozó nyomatékot nem, ez ugyanis bonyolult szerszámot igényelt volna. Az elfordulás szögét két egyszerű, általam készített korong segítségével végeztem. Volt egy állókorong a satuhoz rögzítve, illetve volt egy forgó korong, amit a vizsgált huzal másik végéhez rögzítettem. A kettő egymáshoz képesti elfordulása adta a tönkremenetelhez tartozó elfordulás szögét. Az elforgást jelölőtoll segítségével ellenőriztem. A csavarovizsgálatokat a könnyebb megvalósítás érdekében az eddigiektől eltérően 2 mm átmérőjű huzalokkal végeztem, melyek nem voltak egyforma hosszúak, így a továbbiakban egy hosszúságra fajlagosított elcsavarodást adok meg (°/mm)-t. Az eredményeket a 17. ábra közli.

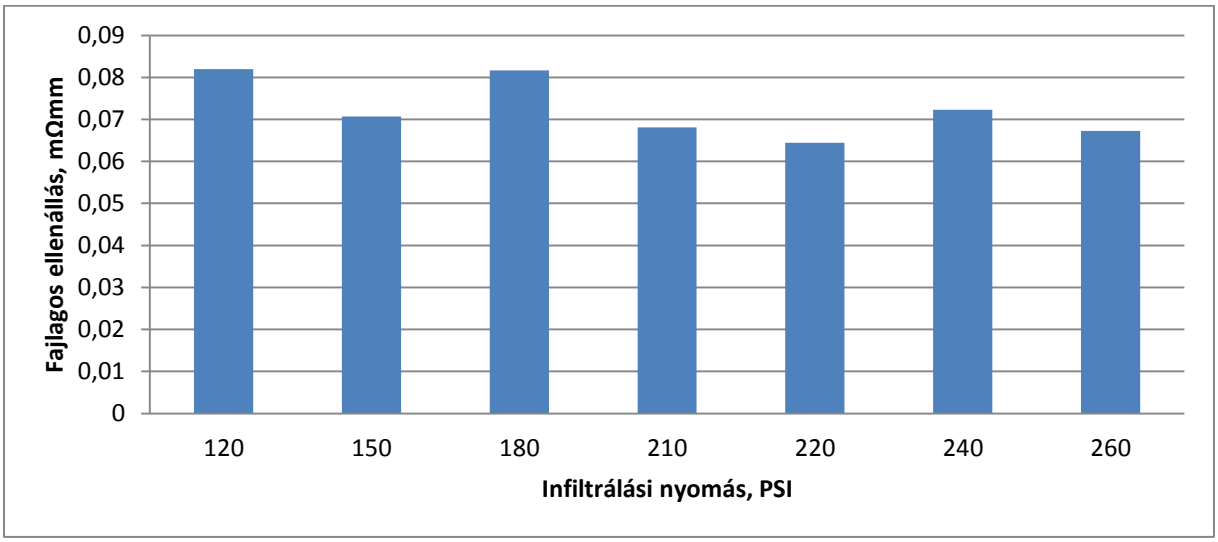


17. ábra A törésig tartó elcsavarodás mértéke az infiltrációs nyomás függvényében, 2 mm átmérőjű kompozithuzalok esetén

A 17. ábra megmutatja, hogy a kísérleteket sikerült meglepően kis szórással elvégezni. Ez biztosíték arra, hogy az alapvetően szubjektív mérés – bár előzetesen voltak kételyek – megállja a helyét, és értékes következtetések vonhatók le belőle. Az eddig megszokott módon a ridegebb viselkedést a nagyobb nyomáson infiltrált huzalok mutatták, hiszen kisebb elcsavarodásnál mentek tönkre, szemben a kisebb nyomáson infiltrált társaikkal. Ehhez kapcsolódóan érdemes végiggondolni, hogy mi okozhatja a tönkremenetelt csavarásnál a kompozithuzalokban: egy kompozitnál mindenesetre elsődleges az erősítőanyag tönkremenetele. Ez azonban korántsem biztos, hogy a kisebb nyomáson infiltrált huzaloknál következik be kisebb erő hatására. Ennek az lehet az oka, hogy a mátrix csavarás esetén a szálakra roncsoló hatással van, bennük nyíró erő és csavaró feszültség ébred. A szálak ugyanis csavarás alatt össze akarnak fonódni, míg a mátrix ebben akadályozza őket, és roncsolja, majd tönkreteszi a szálakat, hiszen a kerámiák az ilyen jellegű igénybevételekre érzékenyek. Mindemellett fontos megjegyezni, hogy összességében a fémmátrixú kompozithuzalok meglehetősen nagymértékű csavarást viselnek el tönkremenetel nélkül. Valamint arra a viselkedésre is felhívnám a figyelmet, hogy részleges (nem tönkremenetelig történő) csavarás hatására nem rugóznak vissza a huzalok (vagyis az eddigi vizsgálatok során tapasztalttal ellentétben képlékenyen alakváltoznak).

## A kompozithuzalok ellenállásának mérése

A távvezetékként történő alkalmazás esetén fontos megvizsgálni azt, hogy a maganyagnak szánt fémmátrixú kompozithuzalok milyen mértékben képesek az elektromos vezetésre. Ennek érdekében a mintákon ellenállásmérést végeztem, meghatároztam az egyes huzalok fajlagos ellenállását és ezt ábrázoltam az infiltrálási nyomás függvényében. Az eredményt a 18. ábra mutatja.




18. ábra A fémmátrixú kompozithuzalok fajlagos ellenállásának változása az infiltrálási nyomás függvényében 1 mm átmérőjű huzalok esetén

A fenti, 18. ábrán jól megfigyelhető, hogy az infiltrálási nyomás változása nem okozott jelentős változást a fajlagos ellenállásban, ami 0,064 és 0,082 mΩmm között ingadozott.

## A kompozithuzalok alkalmazási lehetőségei

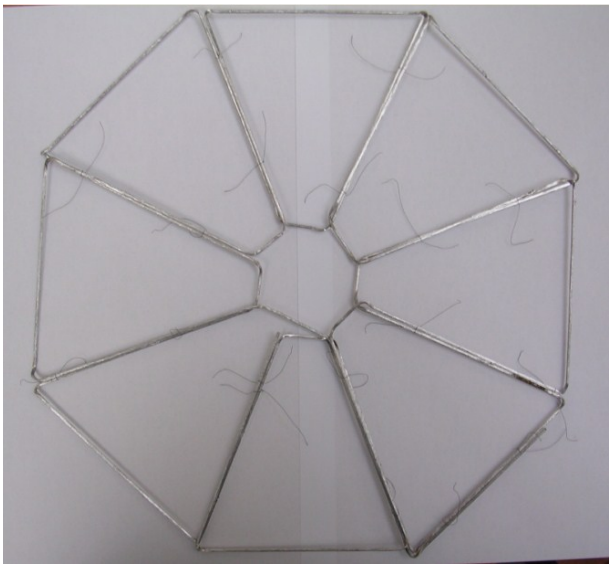
A kompozithuzalok elsődleges és legfontosabb felhasználási területe a távvezetéksodronyok maganyagaként, teherviselő elemeként történő alkalmazása lehet. Erre kis önsúlya, nagy szilárdsága,

kiváló fajlagos mechanikai tulajdonságai, kis hőtágulása, nagy szerkezeti merevsége jogosítja fel. Ezek olyan jellemzők, amelyek némelyike acél huzalozással nem, vagy csak nagy áldozatok árán és költségesen oldhatók meg. A következő, 19. ábrán bemutatok néhány beépítési lehetőséget, amellyel nagy teherviselő képességű önálló kábelek, illetve sodratok állíthatók elő.

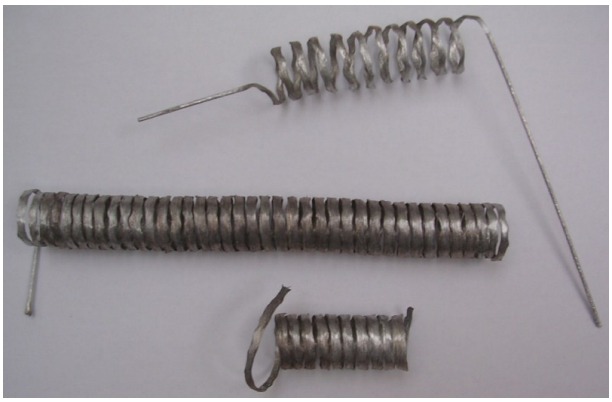
19. ábra a fémmátrixú kompozithuzalok beépítési lehetőségei távvezeték kábelek és sodratok esetén

Balról jobbra haladva, sorrendben egy nagy teherviselő képességű maghuzal, egy önhordó vezetőkábel és egy erősített huzalokból álló sodrat prototípusának keresztmetszetéről készült makrofotók láthatók.

Egy másikfontos alkalmazási lehetőség lehet a fémmátrixú kompozithuzalok öntvények megerősítésére történő alkalmazása. Ebben az esetben, célszerűen a várható terhelés irányába építik be a kompozithuzalokat. Ennek érdekében azonban szükség lehet a kompozithuzalok képlékeny alakítására, ami, mint azt az eddigiekben láthattuk, szobahőmérsékleten nem lehetséges. Ezért kidolgoztuk a fémmátrixú kompozithuzalok képlékeny melegalakításának technológiáját. Az eljárással előállított néhány darab képét mutatja a 20. és 21. ábra.

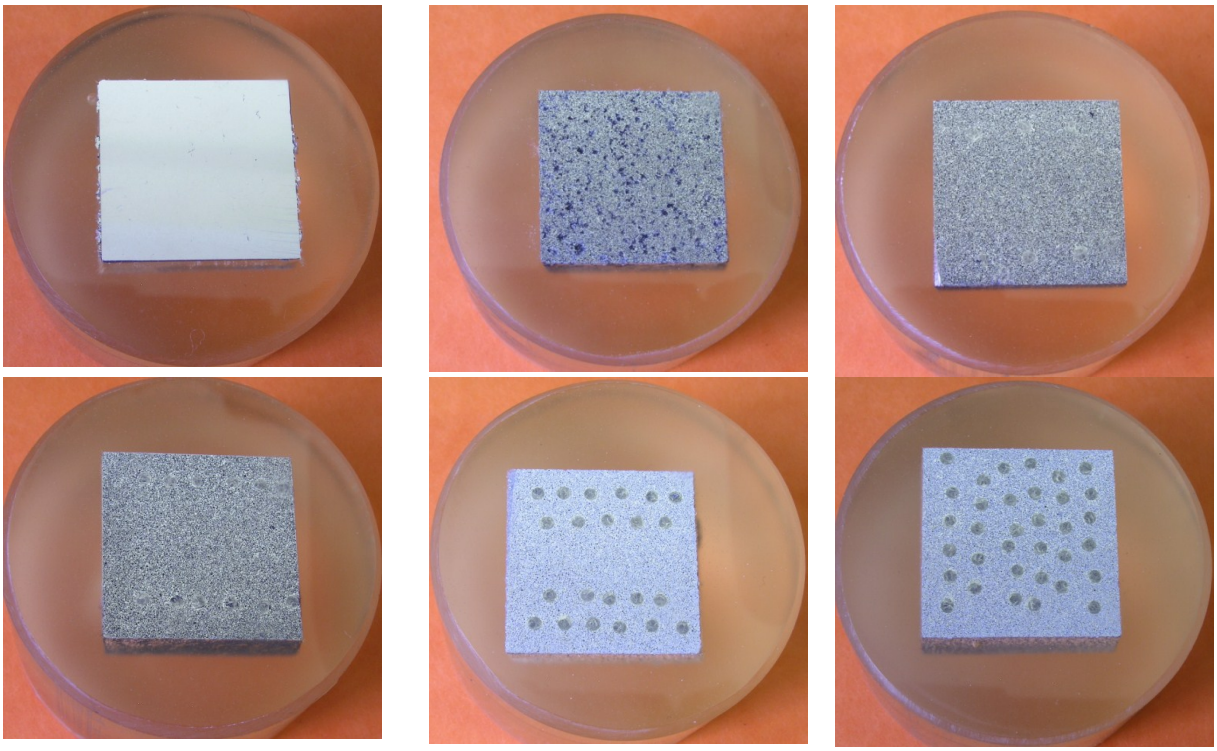


20. ábra Keréktárcsa jellegű alkatrész kompozithuzal erősítésnek formája

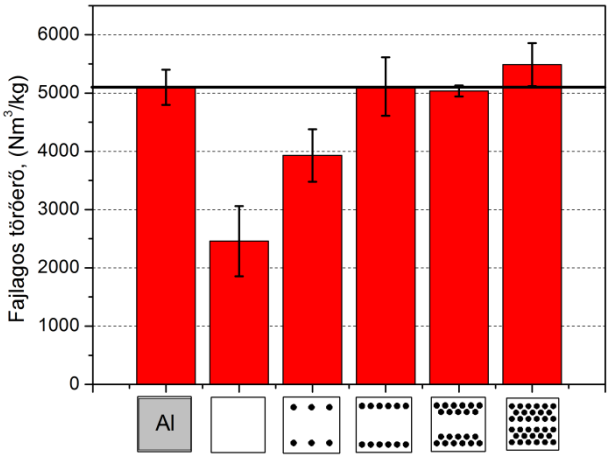


21. ábra Rugószerűen, öntéssel készülő csövek megerősítésének céljára alakított kompozithuzal alkatrészek

Hasonló alkalmazási lehetőség lehet a hibrid kompozitok előállítása („kompozit a kompozitban”). Egyszerű és szemléletes példa erre, amikor egy speciális fémhabtípust, az úgynevezett szintaktikus fémhabokat erősítjük meg kompozithuzalokkal (22. ábra). Néhány előkísérletet elvégezve látható, hogy már kevés kompozithuzal alkalmazásával, beépítésével is elérhető a tisztán alumíniumból készülő alkatrészek szerkezeti fajlagos szilárdsága (23. ábra).



22. ábra Hibrid kompozitok makrofotója, balról jobbra és lentről felfelé haladva: színalumínium minta (referencia), szintaktikus fémhab minta (referencia), szintaktikus fémhab minta két sorban 3-3 kompozithuzallal erősítve, szintaktikus fémhab minta két sorban 6-6 kompozithuzallal erősítve, szintaktikus fémhab minta két sorban 6-6, illetve két sorban 5-5 kompozithuzallal erősítve, szintaktikus fémhab minta 34 kompozithuzallal erősítve




23. ábra A fajlagos törőerő változása az erősítés mértékének és elhelyezkedésének függvényében

## Összefoglalás

A pályázat támogatási ideje alatt elvégeztem a fémmátrixú kompozithuzalok széleskörű mechanikai anyagvizsgálatát, mechanikai jellemzőiknek meghatározását. Ehhez igénybevettem a mikroszerkezeti vizsgálati lehetőségeket is és kapcsolatot kerestem a mikroszerkezet, az infiltráltság mértéke és a mechanikai tulajdonságok között. Mérési eredményeim alátámasztják, hogy a fémmátrixú kompozithuzalok eredményes alkalmazhatók távvezetéksodronyok teherviselő anyagaként, több beépítési lehetőséget is megvizsgálva. Áttekintettem a kompozithuzalok legperspektivikusabb alkalmazási lehetőségeit és a távvezetékek anyagaként történő alkalmazás mellett kiemeltem még két, sok előnyös tulajdonsággal járó alkalmazási lehetőséget.