

## Szerkezeti anyagok és az energia kapcsolata

### The relationship between structural materials and energy

SZABÓ Rudolf<sup>1</sup>, SZABÓ Lóránt<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Óbudai Egyetem Rejtő Sándor Könnyűipari és Környezetmérnöki Kar, Rejtő Sándor Alapítvány  
ingtex@t-online.hu, mobil.: +36309245612

<sup>2</sup> Óbudai Egyetem Rejtő Sándor Könnyűipari és Környezetmérnöki Kar Környezetmérnöki Intézet  
[szabo.lorant@uni-obuda.hu](mailto:szabo.lorant@uni-obuda.hu)  
H-1034 Budapest Doberdó út 6.

#### Abstract

The demands for increased performance and new applications have necessitated the development and application of high-performance materials. The development and widespread use of electronic/electrical equipment has also resulted in changes in the field of mechanical solutions. Energy reduction and environmental protection can also be achieved with lightweighting solutions.

**Keywords:** High-performance fibers, composites, renewable energy

#### Kivonat

A teljesítménynövelési igények, új alkalmazások a nagyteljesítményű anyagok kifejlesztését, alkalmazását tette szükségessé. Az elektronikai/elektromos berendezések fejlesztése, széleskörű elterjedése a mechanikai megoldások területére is változtatásokat eredményezett. Az energiacsökkentés és a környezetvédelem is a könnyű szerkezeti „lightweighting” megoldásokkal érhető el.

**Kulcsszavak:** nagyteljesítményű szálak, kompozitok, megújuló energia

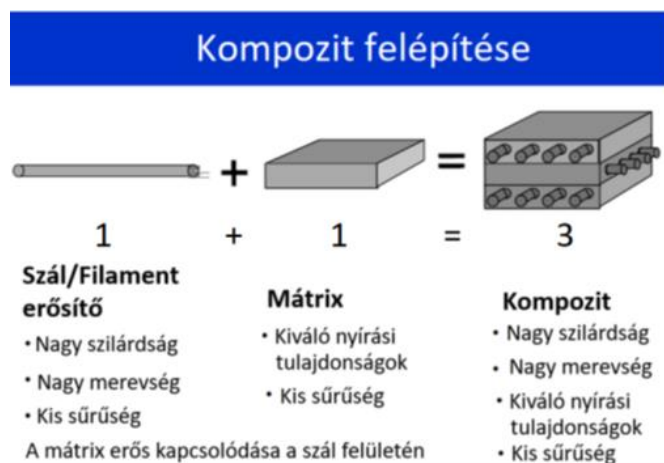
#### Bevezetés

A szálerősítő polimerek (FRP – Fiber Reinforced Polymers) új szerkezeti anyagok, amelyek a szálak fajtájától (üveg, szénzál stb.), szálak struktúrák elrendezésétől, valamint a mátrix széles választékától függően az alkalmazásnak legmegfelelőbb kialakítását teszi lehetővé. A szénzál, a szénzálak szerkezetek kiváló tulajdonságainak köszönhetően a közlekedés (repülőtől a kerékpárig) az energia-csökkentés, az energia-előállítás/tárolás területén a kiváló specifikus szilárdsági és merevségi tulajdonságainak köszönhetően a szellapátok merevítésén, a nagy nyomású tartályok szilárdságának biztosításához kulcsfontosságúak.

A sajátos szénstruktúrák (grafén, nanocső) a kompozitok és az elektronika területén is ígéretes. A stabil pórusos szénzálak szerkezetek az üzemanyagcellák, akkumulátorok alkotó eleme.

Korábban a mechanikai elvárásokat többségében a különböző acél ötvözetek használatával oldották meg. Bizonyos területeken, ahol a könnyűség került az előtérbe, könnyűfémek (alumínium, titán) használata került előtérbe. A további növekvő mechanikai követelményeknek a kompozitok – különösen a szénzál erősítésűek – számos előnyös tulajdonságaiknak köszönhetően további lehetőségeket teremtettek.

A kompozitokat két vagy több lényegesen eltérő tulajdonságú anyag, az erősítő szálak struktúra és a mátrix alkotja, a mátrixba ágyazott szálak megszilárdulás után is elkülönülnek, a mátrix a szálak felületén kapcsolódik (1. ábra). A kompozitok a komponensek előnyös tulajdonságaiból egy új anyagot alkot.

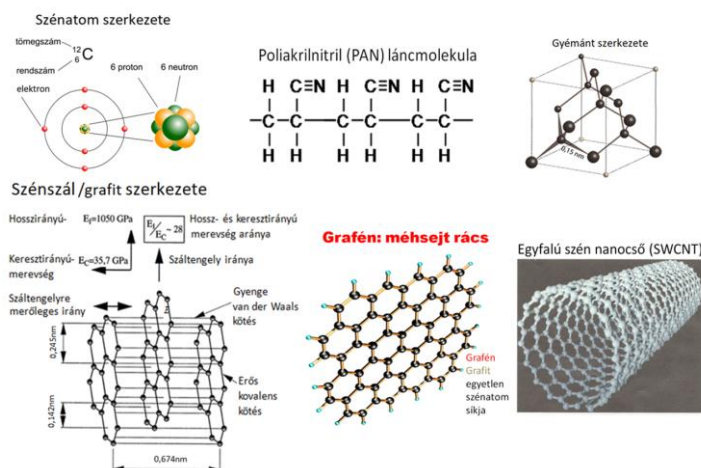


1. ábra. Kompozitok kialakítása

## 1. Szén, a szénszál és a szálas szerkezetek jellemzői

A szénatom négy vegyértékű, számos atommal és önmagával is különböző struktúrákat alkot (2. ábra).

## Szénatom és különböző struktúrák



2. ábra. Szénatom és struktúrái

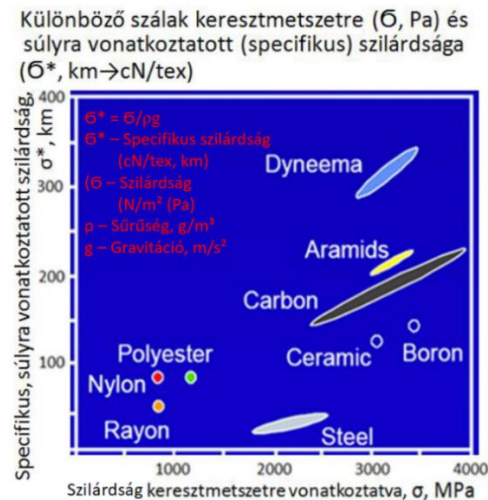
A folyékony állapotú lineáris polimer molekula struktúrák szálhúzás során a megszilárdulási szakaszban a nyújtással a szilárdság növelhető, míg a nyúlás csökken. A szálak vékonyításával a fajlagos szilárdság az anyaghibák csökkenésének köszönhetően növekszik. Lineáris szénatomlánc kapcsolódásnál a szén négy vegyértéke lekötött, nincs szabad elektron, emiatt a mesterséges szálak szigetelők [1].

A szénszál gyártásakor (gyártás során a feszített szálak oxidálása ( $\sim 250^\circ\text{C}$ ), majd semleges gázban szenesítés ( $\sim 1500^\circ\text{C}$ ) hatására az egymással kapcsolódó szénatomok hatszögletű szénrácsokat képeznek, ezáltal a szénszálak a rácsok síkjának irányába nagy szilárdságúak és merevségűek. A szénrácsban a szénatomok három vegyértéke kapcsolódik, a szabad negyedik elektron miatt a szénszál elektromos- és hővezető.

A grafén egy különálló szénrács sík és a henger alakú szén nanocső kiváló mechanikai és elektronikai tulajdonságaiknak köszönhetően fényes jövőre számíthatnak.

A szálak vékonyításával, a hibahelyek csökkentésével a szilárdság és a szálak fajlagos felülete ( $\text{m}^2/\text{g}$ ) is növekszik. A nagyobb fajlagos szálfelület a szál/mátrix kapcsolódás miatt is előnyös. A szerkezeti

anyagok lényegesen eltérő sűrűsége miatt a mechanikai tulajdonságok felületre számítás helyett (Pa) a specifikus, súlya vonatkoztatva (szakítási hossz, km) hasonlíthatók össze (3. ábra).



3. ábra. Szerkezeti anyagok mechanikai tulajdonságai

Az ábra egyértelműen mutatja a szénszál és üvegszál előnyös mechanikai tulajdonságait az acélhoz és az üvegszálhoz viszonyítva [2].

A szálak struktúrák az igénybevételnek megfelelő irányba rendezhetők (anizotrop szerkezet), így a kompozitok mechanikai tulajdonságai maximálisan érvényesíthetők.

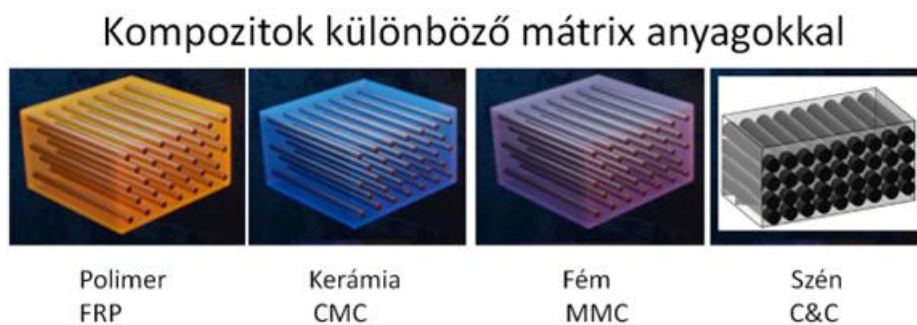
## 1. Kompozitok készítése, tulajdonságai

Preform gyártás esetén az alkatrész alakjának megfelelően alakítják ki a szálak struktúrákat, amelyet mátrixszal átítatva és kikeményítve az alkatrész kialakítható.

Prepreg technológia esetén a szálak struktúrákat a mátrixszal átítatják, így a kompozit gyártásra előkészített anyag előírt körülmények (hűtés) bizonyos ideig tárolható.

A kompozit gyártása során a szálak mátrixba ágyazására számos megoldást (Kézi, Infúzió, Tekercselés, Pultrúzió, RTM (Resin Transfer Molding), ATL (Automated Tape Laying), Fröccsöntés, 3D nyomtatás stb. alakítottak ki. A kompozit kikeményítése során fontos, hogy a szál/mátrix egyenletes eloszlású, légzárványoktól mentes legyen, ami Autoklavban vagy azon kívül hő és nyomás (vákuum) hatására érhető el. A polimer mátrix anyagok hőre keményedők vagy hőre lágyulók lehetnek.

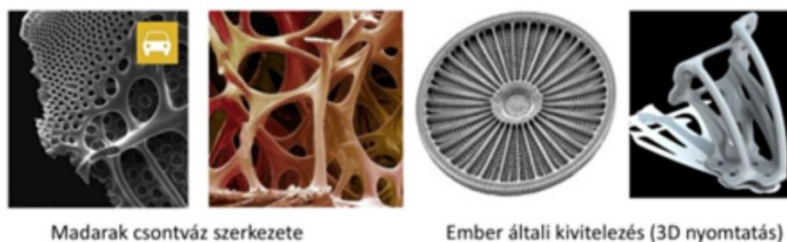
Különleges célú (magas hőmérsékletnek kitett) felhasználásra kerámia, szén, fém mátrixú kompozitokat is készítenek (4. ábra)



4. ábra. Különböző kompozitok kialakítása

A kompozitok a kiváló tulajdonságaiknak köszönhetően az energia-felhasználás csökkentése, -előállítás, -továbbítása és tárolása területen egyaránt kulcsfontosságú. Sok ötlet, kialakítás alapja a bionika (5. ábra)

Bionika ösztönző hatása a könnyű szerkezetek kialakítására

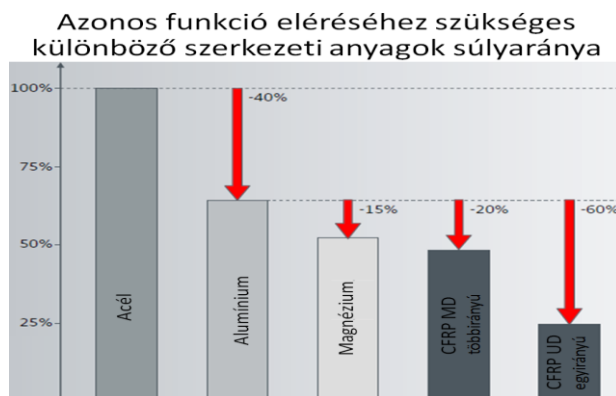


Madarak csontváz szerkezete

Ember általi kivitelezés (3D nyomtatás)

5. ábra. A bionika kialakítása

A kompozitok a kimagasló specifikus mechanikai tulajdonságokon túlmenően kis hőtágulás, kiváló kifáradási ellenállás, jó lengéscsillapítók, nem korrodálódnak, bonyolult alkatrészek kialakítását teszik lehetővé. Azonos funkció megvalósítására a különböző szerkezeti anyagokkal elérhető súlycsökkentést (6. ábra) ábra szemlélteti.



6. ábra. Funkció és a súlyarány csökkenése

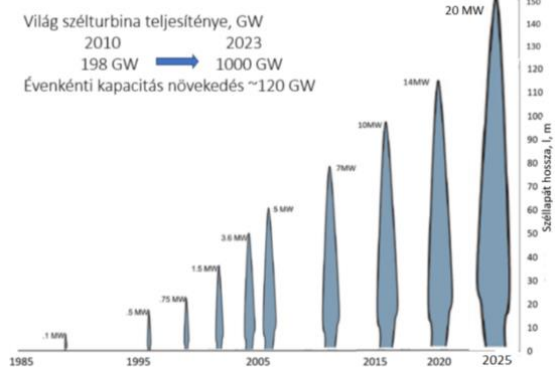
## 2. Kompozitok alkalmazása

A szálerősítésű kompozitok (FRP – Fibers Reinforced Polymers) sokrétű használatára [3]:

- Űr-repülőipar (Rakéták, műholdak, drónok, repülőgépek),
- Sporteszközök (Sílécek, snowboardok, golfütők, kerékpárok, versenyautók),
- Szállítás, járművek (Autók, vonat, buszok, csónakok, hajók),
- Energia, vegyipar (Szélturbinák, olajkitermelés, nyomástartó tartályok, csövek).

A megújuló energiaforrások területén a szálenergia döntő jelentőségű, a fejlesztés, alkalmazás dinamikus növekvő. A szélturbinák teljesítménye döntően a széllapát méretétől függ (7. ábra).

Széllapátok hosszának, a szélturbinák teljesítményének növekedése



7. ábra. Szélturbinák teljesítmény növekedése

A nagy széllapát merevségéhez elengedhetetlen a szénszálak kompozitok használata.

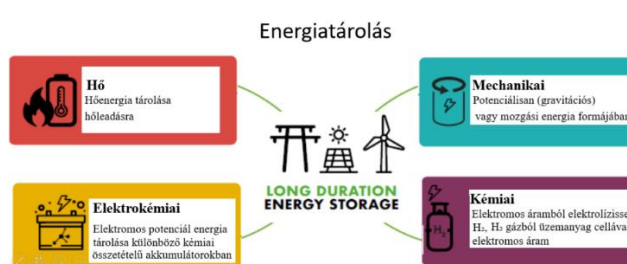
A megújuló energiák továbbításához elengedhetetlen a távvezetékek fejlesztése, amelynél a pultrudált nagy specifikus szilárdságú és merevségű, kis hőágulású szénszál erősítésű kompozitok használata ajánlatos (8. ábra).

## Elektromos energiaátvitel hálózat



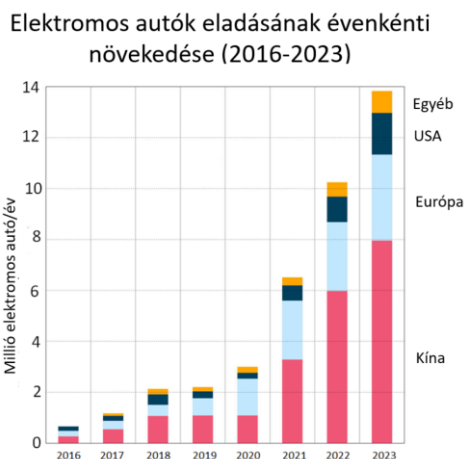
8. ábra. Kompozitok szerepe a villamos energiaátvitelben

Az elektromos, akkumulátoros hajtás „electrification” dinamikus terjed, ami a járművek, autók területén is tapasztalható. A megújuló, nem tervezhető energiák részarányának növelésével a villamos energia tárolása szükséges, a különböző energiatárolási módokat a 9. ábra szemlélteti.



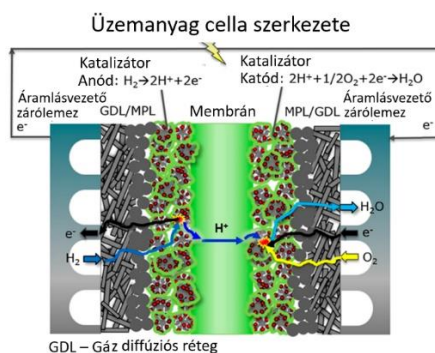
9. ábra. Villamos energiatárolási technológiák

A megújuló energia (szél-, nap- és vízerőmű) termelés a növekvő elektromos energia igény kielégítésére gyors ütemben növelik (napjainkban mindhárom területen a teljesítmények 1 TW-ot átlépi). Napjaink az autópárra az elektromos hajtáslánc gyors arányú növekedése a jellemző (11. ábra).



10. ábra. Az elektromos autók évenkénti növekedése

A megtermelt megújuló energia tárolására és a  $H_2$  üzemanyag cellás hajtás elterjedése – elsősorban, teherautók, buszok, vonatok – területén várható, de személyautók hajtására is biztatók a fejlesztések. Az üzemanyag cellában a pórusos szén-szál struktúra (GDL – Gas Diffusion Layers) használata a gázok ( $H_2$ , levegő) bevezetéséhez és a víz elvezetéséhez szükséges (11. ábra).



11. ábra. Üzemanyag cella felépítése

Hidrogénhajtás energiaellátásához a  $H_2$ -gáz nagy nyomás ( $p = 700$  bar) ellenére is kis sűrűségű ( $\rho = 40 \text{ kg/m}^3$ ). A tartály súlyának csökkentésére a tartályt a belső műanyag magrésze tekercselt szénkábelrel megerősítik.

### 3. Összefoglalás

Napjaink gyorsan növekvő elektromos energia igényének kielégítésében a megújuló energiák egyre nagyobb szerephez jutnak. Az energia-termelés hatékony, gazdaságos előállítása, tárolása, a felhasználás területén a súlycsökkentés egyaránt fontos szempont. A kompozitok, különösen a szén-szál erősítésűek a kiváló tulajdonságaiknak köszönhetően fényes jövő előtt állnak.

#### Felhasznált irodalom:

- [1] Czvikovszky T., Nagy P., Gaál J.: A polimertechnika alapjai Műegyetemi. Kiadó 2000. 455 p.
- [2] Steinmann: Carbon fibers: an overview on manufacturing, research and market ITA/RWTH Aachen University Mitteilungen 2015.
- [3] Szabó L. - Szabó R.: Szén-szál kompozitok alkalmazása XXXV. Kandó Kálmán Nyári Egyetem Budapest OE Kandó Kálmán Kar 2025.