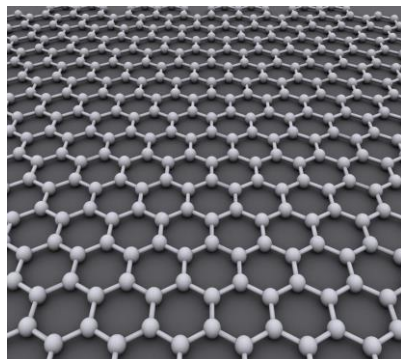


# A grafén alkalmazása textilruházatokban

Lázár Károly

**Kulcsszavak/Keywords:** Grafén, Grafén előállítás, Grafén tulajdonságai, Grafén textilipari alkalmazásai  
Graphene, Graphene production, Graphene properties, Graphene applications in textiles



1. ábra

A grafén méhsejt szerűen egymáshoz kapcsolódó szénatomokból álló, egyetlen atomnyi, azaz 0,3–0,4 nm vastagságú, 0,7–0,8 mg/m<sup>2</sup> területi sűrűségű réteg [13], csak pásztázó alagútmikroszkóp alatt látható (1. ábra). Rendkívül vékony volta és ezért átlátszósága, kiváló

elektromos vezetőképessége, hővezető képessége, nagy szilárdsága (nagyobb, mint az acélé), hajlékonysága, kopásállósága és gázáteresztő képessége folytán sokoldalú alkalmazását teszi lehetővé.

Kutatásának története 1859-ig vezethető vissza. A „grafén” kifejezést *Hanns-Peter Boehm* alkotta meg, aki 1962-ben írta le az egyrétegű szénfóliákat. A grafén iránti érdeklődés nagymértékben megnőtt, miután *Novoselov* és *Geim* 2004-ben beszámolt a grafitrács egyetlen rétegének szokatlan elektronikus tulajdonságairól.

Megkülönböztetünk egyrétegű és a többrétegű, valamint 10-nél több rétegű grafént – ez utóbbit grafitnak nevezik. (Az ISO/TS 80004-13:2024 szabvány szerint csak 10 szénrétegig lehet *grafénnak* nevezni, e fölött már *grafit* a helyes elnevezés.) Noha a különböző rétegszámú grafének szerkezete ugyanaz, de a rétegek száma különböző tulajdonságokhoz vezet.

## A grafén előállítása

A grafént grafitból állítják elő. Grafit a természetben is található, kőszenes üledékekből, nyomás és hőmérséklet együttes hatására, de kontakt metamorf hatásra keletkezik. *Mesterségesen* is előállítható széntartalmú anyagokból, például kőolajkocszból vagy kőszénkátránszurokból, magas hőmérsékleten történő kezeléssel, ami grafitizálja a szenet, sőt – az azokat alkotó cellulóz szénatomjait kihasználva – növényekből, erdei hulladékokból, sőt akár például bambuszból is. Ezek esetében a növényt először pirolízisnek (oxigénmentes, vagy oxigénszegény közegben végzett hevítésnek) vetik alá. Ez a folyamat lebontja a bambuszban lévő szerves vegyületeket és szénben gazdag maradványt hagy maga után. Ennek eredményeképpen aktív szén keletkezik, amiből kémiai oxidációs folyamatokkal grafén-oxidot (GO) állítanak elő, ami oxigéntartalmú funkciócsoportokat vezet be a szénszerkezetbe. A grafén-oxidot ezután kémiai, termikus vagy elektrokémiai módszerekkel redukálják (rGO), hogy eltávolítsák az oxigéntartalmú csoportokat, és így grafén keletkezik. [1, 2]

Grafént mesterséges úton először 2004-ben *A. Geim* és *K. Sz. Novoszjolov*, a Manchesteri Egyetem fizikusai állítottak elő, akik ezért 2010-ben fizikai Nobel-díjat kaptak. Speciális ragasztószalag segítségével addig szedettek

le rétegeket egy grafitömről, amíg sikerült belőle egyetlen atomnyi réteget leválasztani.[3]

Ezen a *mechanikai eljárás*on kívül a további évek során más eljárásokat is kidolgoztak.

A *kémiai gőzfázisú leválasztás* (Chemical Vapor Deposition, CVD) az egyik legszélesebb körben alkalmazott módszer a jó minőségű grafén nagyobb mennyiségű előállítására. Ennek során egy hordozót (általában rézfóliát) felmelegítenek, majd szén tartalmú gáznak (például metánnak) teszik ki. A szénatomok lerakódnak a hordozóra és vékony grafénréteget képeznek. Ez a módszer lehetővé teszi nagyméretű, összefüggő grafénlapok előállítását.[4]

A *folyékony fázisú leválasztás* (Liquid-Phase Exfoliation, LPE) a grafit folyékony oldószerben való diszpergálását, majd olyan technikák alkalmazását jelenti, mint a hanghullámok alkalmazása (szonikáció) a grafénrétegek leválasztásához. Ez a módszer ultrahanghullámokat használ, amelyek kavitációt hoznak létre a grafitot tartalmazó folyadékban. Az összeomló kavitációs buborékok által keltett erők segítik a grafitrétegek szétválasztását. Az LPE módszer alkalmas a grafén nagyüzemi előállítására. A CVD-vel összehasonlítva az LPE költséghatékonyabb és különböző oldószerekben történő grafén előállítására használható, ami rugalmasságot biztosít a továbbfeldolgozásban.[5]

A *grafit-oxid redukció* (Graphite Oxide Reduction, GOR) a grafit oxidációját jelenti grafit-oxid előállításához, amely aztán grafén-oxid lapokká hámozható. A grafén-oxidot ezután kémiai vagy termikus úton redukálják, hogy grafén keletkezzen. A grafit-oxid redukció többlépcsős folyamat, amely magában foglalja a grafit grafit-oxiddá oxidálását, majd az oxigén funkciócsoportok eltávolítását. Viszonylag olcsó módszer, de hibákat vihet be a grafén szerkezetébe.[6]

A *hirtelen nagy, elektromos árammal előállított hevítés* (Flash Joule Heating) viszonylag új módszer, amely gyors, magas hőmérsékletű elektromos áramot alkalmaz a széntartalmú anyagokra. A különböző szénforrások gyorsan grafénné alakíthatók át ezzel a módszerrel, aminek nagy jövőt jósolnak a nagyüzemi graféngyártásban.[7]

## A grafén felvitele a textilanyagra

A grafén a textilanyagra többféleképpen is felvihető:

- *Telítés fuláron.* – Ennek során a kelmét grafén-oxid tartalmú oldatba vagy diszperzióba merítik, hengerek között a fölösleget kipréselik. A grafén-oxid lapok gyorsan be tudnak diffundálni a textília szálai közé és hidrogénkötés révén lerakódnak a szálak felületén. Ezt követően hőkezeléssel elvégzik a redukciót. Ez viszonylag egyszerű eljárás, amit gyakran alkalmaznak.[8]

- *Permetezés.* – A grafén-oxid tartalmú szuszpenziót a kelme felületére permetezik, egyenletes bevonatot hozva létre, majd hőkezeléssel elvégzik a redukciót. Főleg könnyű kelmék esetében alkalmazzák.[9]

- *Nyomatás:* – A grafén tartalmú tintát film- vagy tintasugaras (ink-jet) nyomtatási technikákkal lehet a kelmére nyomtatni, ami pontos mintázatokat és

intelligens textiliák esetében funkcionális alkalmazásokat tesz lehetővé.[10]

- *Szálgyártás.* – Mesterséges szálanyagok esetében a grafént a szálakat alkotó polimeroldatba keverik, ill. olvasztott polimerek esetében ebbe keverik és így szálképzésnél és az azt követő hőkezelést követően már eleve tartalmazza az anyag a grafént. Ez az eljárás biztosítja, hogy a grafén beágyazódjon a szálszerkezetbe, javítva annak mechanikai és funkcionális tulajdonságait. Egy más módszernél a grafén tartalmú prekuzort folyékony monomerekkel keverik össze, majd a keveréket *in situ* (ott helyben) polimerizálják.[11]

- *Bevonat készítés.* – Ilyen például a kémiai gőzfázisú leválasztás (CVD), ami lehetővé teszi a grafénrétegek textiliára történő felhordását. Ezek a módszerek bizonyultak, de kiváló tapadású, kiváló minőségű bevonatokat eredményeznek.[12]

- *Grafénplehek integrálása.* – Ez az egyes szálak grafénplehekkel való beburkolását jelenti, amivel azokon elektromosan vezető réteget hoznak létre. A módszer nem igényel kötőanyagot vagy ragasztót a grafénpleheknek a textilanyagba való beágyazásához. A cél a kelme elektromos vezetőképességének elérése.[12]

- *Elektroforézis.* – Ennél az eljárásnál elektromos mező segítségével rögzítik a grafént a textília felületére. Az egyik leghatékonyabb technikának tartják a grafén-oxid vékony rétegének a kívánt felületre történő leválasztására. Széles körben alkalmazták grafén-oxid vékonyrétegek különböző hordozókra történő lerakására, miközben megőrzi a textilanyag fizikai jellemzőit.[13]

## A grafén textilipari szempontból fontos tulajdonságai

A grafén kitűnő tulajdonságai folytán az ipar számos területén hasznos lehet. Itt most csak azokat emeljük ki, amelyek a textiliák tulajdonságaira gyakorolt hatása szempontjából fontosak.

### Mechanikai tulajdonságok

A grafén az egyik legerősebb anyag, erősebb, mint az acél, ha azokat azonos vastagságban hasonlítják össze. Szakítószilárdsága 125–130 GPa-t, ez nagyságrendekkel több mint a szerkezeti acélé, ami kb. 0,8 GPa, és az aramidé, ami 0,4 GPa.

A grafén rendelkezik – tömegéhez képest – a legnagyobb felülettel az összes anyag közül: egyetlen kétdimenziós grafénlap fajlagos felülete 2630 m<sup>2</sup>/g.

A grafénlapok rugalmasak (rugalmassági modulusuk 1020 GPa), hajlékonyak, nyúlékonyak (akár 20%-kal is nyújtható eredeti méretükhöz képest, törés nélkül).

A fizikai szerkezetében található kis geometriai pórusok, valamint vékonyága rendkívül vízhatlanná és alkalmassá teszi bármilyen gáz, ionos só és sav szűrésére. [14, 21]

### Elektromos vezetőképesség

A grafén kiemelkedő elektromos vezetőképességgel rendelkezik, jelentősen meghaladja a fémekét. Elektron mobilitása 200 000–250 000 cm<sup>2</sup>·V<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup>, ezzel szemben a jó vezetőképességű fémeké (aluminium, arany, ezüst, réz) 10–50 cm<sup>2</sup>·V<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup>. Fajlagos elektromos ellenállása 31 Ω·m. [14, 21]

### Hővezető képesség

A grafén az egyik legjobb hővezető képességgel rendelkezik az ismert anyagok közül. Jellemző értéke 2000–

5000 W·m<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup> szabadon felfüggesztett minták esetében. Összehasonlításképpen, a réz hővezető képessége 401 W·m<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>, az ezüsté 429 W·m<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>. [14, 15]

### Antibakteriális tulajdonságok

A grafén-oxid képes megakadályozni, hogy a baktériumok a textíliához tapadjanak, a redukált grafén-oxid pedig közvetlen kölcsönhatásba lép a baktériumokkal. Fizikailag megbontja a baktériumok sejtmembránját, ami a sejttartalom kiszivárgását okozza, megzavarva azok anyagcseréjét és végül a sejtek széteséséhez vezet. Így a grafén megakadályozza a baktériumok növekedését és szaporodását. A grafén emellett vírus- és gombaellenes tulajdonságokkal is rendelkezik.[16]

### UV-védelem

A szénatomok szorosan hatszögletű rácsba rendezett állapota egyebek között az ibolyántúli sugarak ellen is védőgátat képez.[17]

### Víztasító képesség

Míg az egyrétegű grafén hidrofíli, a többrétegű grafén és a grafén-oxid hidrofób tulajdonságokkal rendelkezik. A grafén hidrofób jellegét befolyásolhatja a rétegek száma és a funkciós csoportok jelenléte a felületén.[18]

### Optikai tulajdonságok

A napelemekhez olyan anyagokra van szükség, amelyek vezetőképesek és átengedik a fényt. Az egyrétegű grafénlap 97,7%-os optikai áteresztő képességgel rendelkezik, ami nagyon átlátszóvá teszi. Ugyanakkor a napelemben keletkező elektromos áram összegyűjtésében nem túl jó. Erre jobb lehet a grafén-oxid (GO), ami kevésbé vezetőképes, de átlátszóbb és jobb töltésgyűjtő.[13, 19]

### Kémiai tulajdonságok

A grafén különböző kémiai csoportokkal funkcionálizálható, ami különböző anyagokat eredményezhet, mint például grafén-oxidot (oxigénnel és héliummal funkcionálizálva) vagy fluorozott grafént (fluorral funkcionálizálva). [13]

## A grafén alkalmazása ruházati textiliákban

A grafént kitűnő tulajdonságai folytán az ipar számos területén hasznosítják. Megjelentek a textíliakon, különösen ruházati cikkekben is.[20]

A grafén nagy szolgálatokat tesz az **intelligens ruházatokban**. Hajlékonysága, kiváló vezetőképessége lehetővé teszi, hogy érzékelőket és elektronikus elemeket helyezzenek el a kelmékben. A grafénplehek kelmeszerkezet mélyébe való beépítésének ez a módja – a fémekkel szemben – puha, rugalmas, kellemes viselési tulajdonságokat biztosít. Az, hogy a grafén napelemek készítésében is szerepet játszhat, lehetővé teszi azt is, hogy az intelligens ruházatba napelemet építsenek be, ami más erőforrást (akkumulátort) helyettesíthet. A nyomtatással felvitt elektromosan vezető grafénfelületek még nagyobb terhelés alatt is vezetőképesek maradnak. A vizsgálatok szerint akár 1000 cikluson keresztül és 20–50%-os terheléssel is – ami megfelel szokásos viselési körülményeknek – megtartják kifogástalan működőképességüket. Mindez kitűnően kihasználható például a test működését folyamatosan ellenőrző, a ruházatba beépített érzékelő-jelzőváltató készülékek alkalmazásához.



Grafén bevonatú sportmez.  
A kelme belső felületét nyomtatással felvitt grafénréteg  
borítja [20]

A grafénnel átítatott textiliák nagyon jól **ellenállnak a környezeti hatásoknak** (a víznek, a vegyi anyagoknak és az UV-sugárzásnak). Ez összhangban van a környezetbarát és tartós textilipari megoldások iránti követelményekkel is, mert főlegessé teszi az egyébként e célra szokásos, vegyszerekkel történő kezeléseket.

A kiváló hővezető képességű grafénnel bevont textiliák **hőmérséklet-szabályozást** is biztosíthatnak a fizikai tevékenységek során. A grafén tartalmú textiliából készült sport- és téli ruházat, például akkumulátoros fűtésű kabát, kesztyű, nadrág, ing és zokni, a grafén kiváló hővezető a hőtároló tulajdonságai miatt válik be.

A grafén elektronikus **hőmérséklet-érzékelőként** is használható, amit bizonyos daganattípusok, keringési problémák vagy izomproblémák kimutatására lehet felhasználni.

A grafénnel ellátott intelligens textiliák létfontosságú szerepet játszhatnak az **egészségügyi alkalmazásokban**, például a betegek távoli megfigyelésében (fiziológiai jelek valós idejű megfigyelésével), a viselhető terápiás eszközökkel.

A grafén antibakteriális hatása azon alapul, hogy szétrombolja a baktérium membránját. Ez alkalmassá tesz arra, hogy olyan védőruhákat állítsanak elő a felhasználásával, ami megvédi a viselőjét a bakteriális fertőzésektől.

A grafén igen nagy mechanikai szilárdsága, kopásállósága és vízhatlansága miatt ideális a különböző **védőruházatok** (tűzoltóöltözetek és vegyi anyagoknak ellenálló ruházat, golyóálló mellények) kifejlesztésére. Egyes szakterületeken fontos előnynek számít a grafén antisztatikus tulajdonsága is. Mint érdekességet említjük, hogy kísérletek folynak bokszolók grafén tartalmú

mezének kifejlesztésére, amely edzések során az ütések okozta belsőszervi sérülések ellen véd.

**Alsóruházati termékek** esetében előnyös a grafén antibakteriális és antisztatikus tulajdonsága. További előny – talán leginkább épp ezen a területen –, hogy a grafén hipoallergén, azaz viselőjén nem vált ki allergiás reakciót.

**Felsőruházati cikkekben** a grafén hőszabályozó, vízlepergető tulajdonsága, valamint nagy szilárdsága jelent előnyt. A vízlepergető képesség vízben diszpergált grafén rápermetezésével is elérhető.

**Matracok és ágyneműk** esetében a grafén tartalom antisztatikus és hőszabályozó tulajdonságai miatt nyújthat előnyöket.

A **grafén tartalmú ruházatok kezelése** tekintetében figyelembe kell venni, hogy mosásuk hideg vízben, kíméletes hatású mosószerrel, fehérítő és öblítőszer mellőzésével javasolt, szabad levegőn, vagy csak nem túl magas hőmérsékleten száríthatók. Langyos vasalóval vasalhatók.

### Felhasznált irodalom

- [1] Diego Voccia, Lucrezia Lamastra: Unpacking the Carbon Balance: Biochar Production from Forest Residues and Its Impact on Sustainability  
<https://www.mdpi.com/1996-1073/17/18/4582>
- [2] Febi Indah Fajarwati et al.: Synthesis and transformation of graphene-like structures from bamboo waste for photoelectrochemical devices  
<https://doaj.org/article/bd062335a40e4448a95de03ab30a8393>
- [3] Grafén. Wikipédia szócikk.  
<https://hu.wikipedia.org/wiki/Graf%C3%A9n>
- [4] Les Johnson, Joseph E. Meany: Mass-Producing Graphene.  
<https://www.americanscientist.org/article/mass-producing-graphene>
- [5] Yanyan Xu et al.: Liquid-Phase Exfoliation of Graphene: An Overview on Exfoliation Media, Techniques, and Challenges.  
<https://www.mdpi.com/2079-4991/8/11/942>
- [6] Stephen Wakeland et al.: Production of graphene from graphite oxide using urea as expansion-reduction agent  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008622310003805>
- [7] Xinyuan Liu, Hongchao Luo: Preparation of Coal-Based Graphene by Flash Joule Heating.  
<https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acsomega.3c07438>
- [8] Yang Liu et al.: Functionalization of Fabrics with Graphene-Based Coatings: Mechanisms, Approaches, and Functions.  
[https://www.researchgate.net/publication/373861025\\_Functionalization\\_of\\_Fabrics\\_with\\_Graphene-Based\\_Coatings\\_Mechanisms\\_Approaches\\_and\\_Functions](https://www.researchgate.net/publication/373861025_Functionalization_of_Fabrics_with_Graphene-Based_Coatings_Mechanisms_Approaches_and_Functions)
- [9] Archana Samanta, Romain Bordes: Conductive textiles prepared by spray coating of water-based graphene dispersions.  
[https://www.researchgate.net/publication/338551987\\_Conductive\\_textiles\\_prepared\\_by\\_spray\\_coating\\_of\\_water-based\\_graphene\\_dispersions](https://www.researchgate.net/publication/338551987_Conductive_textiles_prepared_by_spray_coating_of_water-based_graphene_dispersions)
- [10] Nazmul Karim et al.: All inkjet-printed graphene-based conductive patterns for wearable e-textile applications.  
<https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2017/tc/c7tc03669h>
- [11] Xuqiang Ji et al.: Review of functionalization, structure and properties of graphene/polymer composite fibers.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359835X16300793>
- [12] Materials of the future: Graphene and textiles.  
<https://graphene-flagship.eu/materials/news/materials-of-the-future-graphene-and-textiles/>
- [13] Yifei Ma et al.: Electrophoretic deposition of graphene-based materials: A review of materials and their applications.

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352847818300091>
- [14] Dr Robabeh (Zohreh) Gharae et al. (WTiN): Graphene & its opportunities for the textile industry  
[https://www.wtin.com/media/11453925/graphene-and-its-opportunities-for-textile-industry\\_wtin\\_2018.pdf](https://www.wtin.com/media/11453925/graphene-and-its-opportunities-for-textile-industry_wtin_2018.pdf)
- [15] Hővezetési tényező. Wikipédia szócikk.  
[https://hu.wikipedia.org/wiki/H%C5%91vezet%C3%A9si\\_t%C3%A9nyez%C5%91](https://hu.wikipedia.org/wiki/H%C5%91vezet%C3%A9si_t%C3%A9nyez%C5%91)
- [16] Yinfeng Li, Hongyan Yuan et al.: Graphene microsheets enter cells through spontaneous membrane penetration at edge asperities and corner sites  
<https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1222276110>
- [17] João Henrique Barcha Lupino et al.: UV-protective compound-containing smart textiles: A brief overview  
<https://www.redalyc.org/journal/429/42976206001/html/>
- [18] Is Graphene Hydrophilic or Hydrophobic?  
<https://www.msesupplies.com/blogs/news/is-graphene-hydrophilic-or-hydrophobic>
- [19] Graphene Solar: Introduction and Market News.  
<https://www.graphene-info.com/graphene-solar-panels>
- [20] Graphene Wear  
<https://graphene-wear.com/garments>
- [21] Graphen. Wikipédia szócikk.  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Graphen>