

Kompozitok alkalmazása napelemekben

A napelemek alkalmazása a megújuló energiára való áttérés egyik kulcsa. A kompozit szerkezeti elemek alkalmazása üveg és az alumínium helyettesítésére növeli a napelemek tartósságát, csökkenti súlyukat. A környezetvédelmi kritériumok elérésében fontos szerepe van napelemek alkalmazásának az elektromos járművek fejlesztésében. Itt kulcsfontosságú kérdés, hogyan lehet integrálni a napelem cellákat a járművek alkatrészeibe úgy, hogy ne okozzon jelentős súlynövekedést és a napelem panel pontosan kövesse az alkatrész geometriai formáját.

Tárgyszavak: napelem, átlátszó fólia, etilén-(tetrafluor-etilén) kopolimer, mag-héj szerkezetű kompozit, méhsejt szerkezet, nagy nyomású RTM, integrált fóliák

A napelemek felfedezése, bevezetése és terjedése

A napenergia, mint megújuló energiaforrás története hullámhegyekkel és a hullámvölgyekkel tarkított. Már 1839-ben megállapították, hogy bizonyos anyagok a napfény hatására vezetőképessé válnak. Albert Einstein 1905-ben a fotoelektromos hatásokról beszélt, és 1913-ban adták ki az első amerikai szabadalmat a "napelemre". A Bell Labs (ma **Nokia Bell Labs**, Murray Hill, NJ, USA) az 1950-es évek elején mutatta be a működő napelemeit, amelyek aztán az amerikai űrmissziókat látták el energiával.

Azóta a technológia kiforrott, és a napelemek energiahatékonysága nőtt, annak ellenére, hogy a nap-elemes start-upok világában látványos csődök sorozata következett be a túlkapacitás, a nyomott árak, a változó adótámogatások és hitelek, a rossz időzítés és/vagy a balszerencse kombinációja révén. Az elmúlt két évben az iparág növekedése és – ami fontos – a napelemes létesítmények száma ugrásszerűen megnőtt. 2016-ban a napenergia mennyisége 50%-kal nőtt, és elérte a 305 GW-os globális kapacitást (The Guardian 2017. március 7., Adam Vaughan). Az Egyesült Államokban a **Solar Energy Industries Association** (Washington, DC, USA) Solar Market Insight Report 2016 Year In Review című jelentése arról számolt be, hogy a 2016-os amerikai napenergia-berendezések száma majdnem megduplázódott 2015-höz képest. Továbbá a teljes telepített amerikai napenergia kapacitás a következő öt évben várhatóan megháromszorozódik. 2022-re évente több mint 18 GW napelemes kapacitást fognak telepíteni.

Az elmúlt évtizedben a napenergia vált a legolcsóbb energiaforrássá. Az **Armageddon Energy** (Menlo Park, Kalifornia, USA) számításai szerint a wattonkénti költség – a napelemes rendszer teljes költsége osztva a megtermelt wattal vagy energiával ~7 dollárról ~3 dollárra csökkent. A napenergia iránti érdeklődés még mindig erős, a volumen továbbra is látványosan növekszik. Tekintettel a keresletre, a cég nemrégiben mutatta be tetőtéri napelemes rendszerének új, kompozitanyag-intenzív változatát, amely jelentősen könnyebb és lényegesen robusztusabb, mint a tipikus napelemek.

Plug-and-play napenergia

A napelemeket hagyományosan úsztatott üvegből gyártják, amely merevséget biztosít, jó nedvességzáró és jó fényáteresztő tulajdonságokkal rendelkezik. Az ilyen üveg, amelyet általában bevonattal látnak el a fényvisszaverés csökkentése és a szennyeződések taszítása érdekében, drágább, mint az ablaküveg, és gyakran edzett kivitelű, ami tovább emeli a költségeket. Bár ezek az üvegfajták kevésbé hajlamosak a törésre, növelik a súlyt, ami a tetőkre történő telepítéseknél gyakran problémát okoz. Az üvegfelület idővel elhomályosodhat, ami csökkenti a napelem panel energiahatékonyságát. Ráadásul a panel geometriája kötött, téglalap alakúnak kell lennie.

Az **Armageddon Energy** fejlesztési stratégiája az volt, hogy a fogyasztóknak egy könnyen telepíthető, esztétikusabb megjelenésű és kisebb méretű rendszert kínálnak, amely nem nullázza le az ügyfél teljes villamosenergia-felhasználását, inkább a drága csúcshasználatát ellensúlyozza. Egy általuk fejlesztett átlagos rendszer 2–3 kW-ot biztosít a tipikus 5–6 kW helyett. Ezt a célt úgy valósították meg, hogy az üveget egy etilén-(tetrafluor-etilén) (ETFE) kopolimer filmmel helyettesítették. Az ETFE film, amelyet a **DuPont Performance Materials** (Wilmington, DE, USA), *Tefzel* védjegy alatt gyárt, egy vékony és átlátszó polimerfilm. Ennek alkalmazásával született meg az Armageddon 1.0 verziójú panel-dizájnja, a *SolarClover*, az iparág első olyan filmmel borított napelempanelje, amely megfelel a napenergia-ipar UL1703 szabványának (a síklemezes fotovoltaiikus modulok és panelek szabványa).

Ezzel a megoldással a *SolarClover* panel sokkal könnyebb lett az üvegezett panelekhez képest. Az előre bekábelezett, gyors összeszerelésű állványokat úgy tervezték, hogy egy tetőfedő vagy villanyszerelő is felszerelhesse őket, speciális napelemes képzettség nélkül. A *SolarClover* egyik figyelemre méltó referenciája a San Jose városházának tetejére telepített rendszer (San Jose, Kalifornia, USA).

Alternatív anyagok keresése

Az **Armageddon Energy** folytatva az innovációt egy új, robusztus, téglalap alakú panelt fejlesztett, amely könnyű, tartós, biztonságosan szerelhető és alacsonyabb az előállítási költsége. A cég az alumínium elhagyása mellett döntött, így csökkentve az áramütés kockázatát, és az alapanyag költségeket. Az új fejlesztés során a fókusz a kompozitanyagokon volt. Ezzel a termékkel a kereskedelmi és katonai üzemeltetőket célozták meg, olyan mikrohálózatok számára biztosítva energiát, ahol a könnyű telepítés és a robusztus kialakítás alapvető fontosságú. A paneltervezés során kulcsfontosságú volt, hogy olyan alapanyagokat válasszanak, amelyek nem drágábbak, mint a szokásos üveg és alumínium anyagok, és hogy szabványos berendezéseken, méretarányosan lehessen gyártani, alacsony gyártási költségek mellett.

A továbbfejlesztett konstrukció megvalósítása érdekében a vállalat régi partneréhez, a **DuPont** fordult igényeivel. A **DuPont** segítségével került a fejlesztés fókuszába az **EconCore** (Leuven, Belgium) méhsejtes panelje, amely kiválóan alkalmazható maganyagként kompozit szendvics szerkezetekbe. Az **EconCore ThermHex** nevű, termoplasztikus méhsejtes panelje a **DuPont Zytel** poliamidgyanta fóliájából készül, egy sor hőformázási, hajtogatási és vágási lépésen keresztül, folyamatos gyártási eljárást alkalmazva. Ezt a maganyagot, kombinálva egy szendvics szerkezetbe a **DuPont Vizilon** termoplasztikus kompozit (TPC) lemezével, olyan erős és merev, ugyanakkor könnyű panel jött létre, amely kiváltotta az 1.0 verzióban használt alumínium szerkezeti hátlapot. Az **EconCore ThermHex Vizilon** héjakkal egy minimális tömegű, nagy szilárdságú és merevségű, kellően hőtűrő, a magas hőmérsékleteket (akár 150 °C-ot is elérő gyártás közbeni, valamint a tetőn a tűző napon fellépő hosszú távú igénybevételeket) elviselő, szendvics szerkezetű napelem panel. Jelenleg is folynak helyszíni és laboratóriumi tesztek, amelyek a panelek teljesítményét vizsgálják.

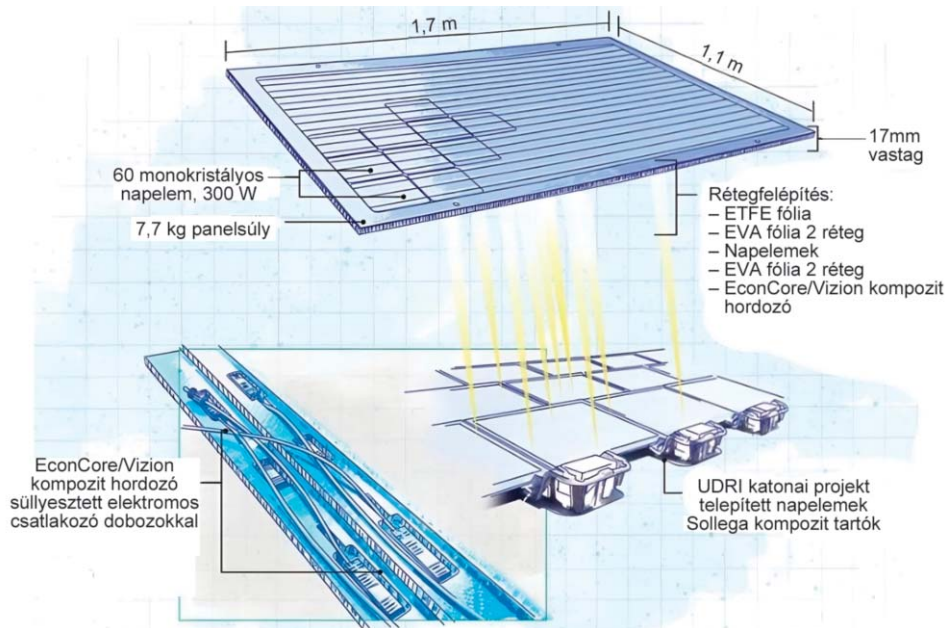
A fejlesztés során bebizonyosodott, hogy a méhsejtszerkezetű panelekkel könnyű dolgozni: könnyen megmunkálhatók, formázhatók, megfelelnek a 30 éves időjárásállósági követelményeknek. Telepítés szempontjából is kiválóak: gyorsan, biztonságosan telepíthetők zord, kültéri környezetben is.

Az új kompozit hordozóval az 1,7 m×1,1 m méretű, 17 mm vastag, 300 W-os napelem panel csak 7,7 kg-os (a hagyományos 18–20 kg képest). A kompozit hordozóra nagy határfokú monokristályos napelemeket laminálnak. Ezeket a cellákat kapszulázó anyagokkal, jellemzően etilén-vinilacetát (EVA) fóliával, és ETFE előlappal védik. Az átlátszó ETFE 50–127 mikrométer vastagságú, az alkalmazástól függően. Az EVA-t melegített présben, vákuum alatt, 10–20 percig ráaminálják a törékeny cellákra. Az **EconCore/Vizilon** panel jól tartja magát a laminálógépből, és még az is lehetséges, hogy vevői igényre hőformázással egyszerű ívelt formák is kialakíthatók. Ha nagyobb szilárdságra vagy kisebb súlyra van szükség, akkor a *Vizilon* héjlaminátumban, az erősítő üvegszálakat szénszálakra lehet cserélni.

A 2.0 változatú *SolarClover* masszív panel akár 11 mm vékony profillal is elkészíthető. Az **Armageddon** az amerikai légierővel és a **Daytoni Egyetem Kutatóintézetével** (Dayton, OH, USA) együttműködve egy kísérleti projekt (UDRI) keretében vizsgálták, a robusztus napelemek teljesítményét

a katonai műveletekhez a hálózaton kívüli területeken. A projekt során 17 mm-es vastagságú panelekkel dolgoztak, hogy az **EconCore/Vizion** hátlapon megmunkálhatóak legyenek a süllyesztett elektromos csatlakozódobozok elhelyezésére szolgáló zsebek.

Az UDRI projekthez több mint 50 darab 2.0-s verziójú kompozit panelt gyártottak. Az egyik kísérleti rendszer esetében, amikor szabványos üveg-panelet használtak, a telepítőcsapatnak két napjába telt a rendszer felállítása. A **SolarClover 2.0** panelekkel ez 40 percet vett igénybe, és a panelek súlya kevesebb mint feleannyi volt. Az **Armageddon** a panelek felszereléséhez a **Sollega** (San Francisco, Kalifornia, USA), egy egyszerű, készletről beszerezhető kompozit paneles állványrendszerét használta. A telepítés gyorsasága és egyszerűsége lehetővé tette a panelek gyors aktiválását.



1. ábra. Kompozit elemek napelem panelekben

Könnyebb paneleket alkalmazva a tetőkön több panel fér el, ami nagyobb teljesítményt eredményez. Talajszinten pedig a telepítés könnyebben és gyorsabban elvégezhető, ahogyan az UDRI projekt esetében is történt. Az **Armageddon** jelenleg ügyfeleivel azon dolgozik, hogy az egyes telepítési igényekre szabott terveket készítsen. A vállalatnak hosszú távú terve egy kompozit állvány kifejlesztése a lakossági, tetőre történő telepítésekhez.

A napenergia felhasználása – a hullámvölgyek ellenére – most megállíthatatlanul növekszik, és még nagyon sokáig erős ütemben fog növekedni. A napenergia nagymértékben megnöveli az elektromos és kommunikációs hálózataink lehetőségét és biztonságos működését. Világszerte, több milliárd ember számára, akik nem jutnak megbízható áramforráshoz, egy új lehetőséget biztosít, a jólét hullámát indítja el számukra.

Napelemek integrálása szálerősített kompozitokba

Az autóipar előtt álló egyik fontos kihívás a szigorú környezetvédelmi követelmények és a kapcsolódó emissziós törvények teljesítése, amelyek elsősorban a CO₂-kibocsátás csökkentésére összpontosítanak. A járműbe integrált fótovoltaika (VIPV) fontos szerepet játszik e környezetvédelmi kritériumok teljesítésében.

Az **Audi** az **Apollo Power** (Izrael) és a **Mubea Carbo Tech** (Ausztria) vállalatokkal együttműködve egy új fejlesztési projekt részeként korszerű eljárást fejlesztettek ki a nem kapszulázott rugalmas napelemes fóliák integrálására szálerősítésű műanyag alkatrészekbe. Az eljárás lényege a HP-RTM (high pressure resin transfer moulding – nagy nyomású gyanta injektálás) technológia, amelynek során a szál-

erősítés-előgyártmányt előformázzák, majd behelyezik a merev szerszámfelek közé. Itt vákuum alá helyezik, majd magas nyomáson injektálják (60–100 bar). A szerszámiban az impregnálás és a térhálósodás nagy szerszámzáró erő mellett zajlik. Az eljárást sikeresen alkalmazták az **Audi** szériatetőn (2. ábra).

Ez a technológia számos előnnyel jár: más alkalmazásokhoz képest (pl. üvegbe való integrálás) a legjobb könnyű-szerkezetű napelem-panel kivitel; „A” minőségi osztályú felületet lehet elérni ezzel az eljárással, nagy esztétikai és tervezési szabadsággal (beleértve az összetett 3D-s terveket is); tartósabbnak bizonyult mint más ragasztott (vagy laminált) napfóliával ellátott alkatrész; a beágyazott napfóliával ellátott szálerősíté-



2. ábra. Integrált napelemes fóliát tartalmazó gépkocsi tetőpanel (Audi).

sű műanyag alkatrészek védettek az időjárásal szemben és mivel integráltak, nem lophatók el; az autó hatótávolsága a felhelyezett napfólia teljesítményével bővül.

Partnerek

A 2019-ben indult fejlesztési projektben az **Audi** együttműködött az **Apollo Power** és a **Mubea Carbo Tech** vállalatokkal. A 2014-ben alapított **Apollo Power** egy innovatív izraeli energetikai vállalat, amely egyedülálló technológiát hozott létre a rugalmas, könnyű, tartós és nagy hatékonyságú energiafóliák gyártására, amelyek bármilyen felületet energiaforrássá alakíthatnak, és túlmutatnak a hagyományos napenergia-technológia korlátjain.

A vállalat napelemes fóliája mindössze 430 g/m² súlyú és az alkalmazása az integrálási folyamat során nem igényel semmilyen változtatást a kompozit alkatrészek standard gyártási folyamatainak paramétereiben (hőmérséklet, nyomás vagy idő). Akár az autoklávós (prepreg) gyártási folyamatba, akár a gyantainjektálási eljárásokba egyszerűen beiktatható (pl. RTM, LRTM).

A rugalmas napelemek más gyártási eljárásokba (például fröccsöntés vagy hőformázás) is beépíthetők.

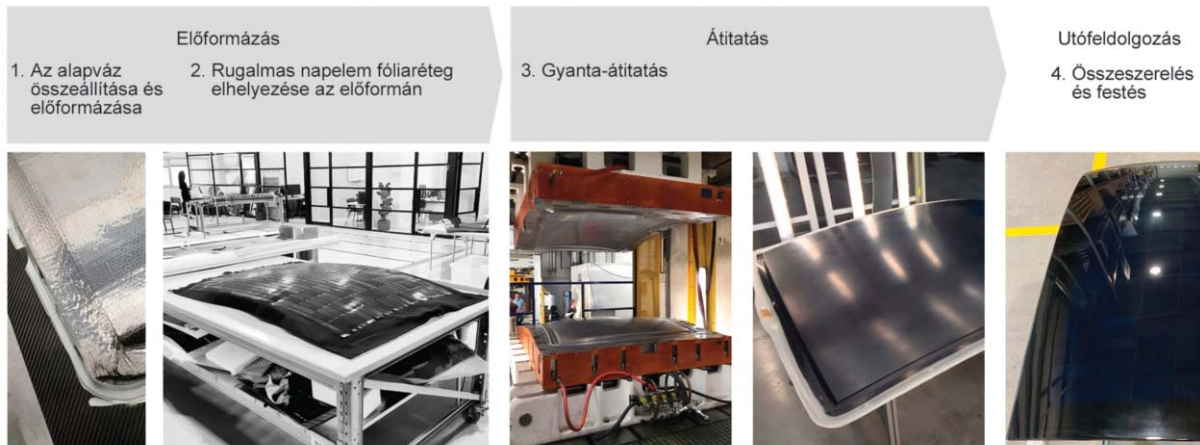
A **Mubea Carbo Tech** (MCT) egy osztrák Tier 1 beszállító, amely kompozit alkatrészeket fejleszt és gyárt, és a projektvezéstől kezdve a konstrukción, a szilárdságtervezésen, a modellépítésen, a szerszámkészítésen és a végső tesztelésen át a teljes folyamatot végig viszi. Az MCT termékeiben kulcsszerepet játszik a projektben megvalósított integrált könnyűszerkezetű terméktervezés. A vállalat a hagyományos és innovatív gyártási technológiák széles skálájához biztosít hozzáférést, mint például az RTM, a nedves préselés, az SMC (sheet moulding compound – formázásra kész, szálerősített polimer mátrixú képlékeny lemez, amelyet elsősorban sajtolóformázáshoz használnak). Korszerű szálelhelyezési megoldásokat alkalmaznak, beleértve az automatizált 2D/3D előformázást, a TFP-t (tailored fiber placement – a szabott szálelhelyezés a varrás elvén alapuló textilgyártási technika, amely a szálak folyamatos elhelyezését teszi lehetővé kompozit alkatrészekhez) vagy a fonást. A hatékonyság folyamatos növelésével, a bioalapú és újrahasznosítható kompozitok alkalmazásával és a megújuló energiaforrásokra történő átállásával az MCT hozzájárul a gyártás CO₂-lábnyomának csökkentéséhez.

A gyártási folyamat leírása

Az új folyamat négy szakaszból áll (3. ábra):

- Az előforma előkészítése (pl. szénzál alapú),
- Rugalmas napelemes fólia réteg hozzáadása az előformához,

- Gyantainfúzió HP-RTM segítségével,
- Összeszerelés, beleértve az UV-álló bevonattal történő festést.



3. ábra. A gyártási folyamat elemei

Az eljárást kis méretű, 50 cm×50 cm méretű laboratóriumi mintákon fejlesztették ki, majd 2021 óta sikeresen átvitték a **Mubea Carbo Tech** zebraki (Cseh Köztársaság) üzemében gyártott, szénszállal erősített szériatetőre. Valamennyi kísérlet azt mutatta, hogy a HP-RTM-el rövid ciklusú (<20 perc/alkatrész) hatékony gyártás valósítható meg, anélkül hogy az **Apollo Power** rugalmas napfóliáját vizuális vagy egyéb károsodás érné. A gyártási folyamat nem befolyásolja a fólia elektromos képességeit sem, nem okoz teljesítmény csökkenést.

A végtermék kiváló eredményeket mutat: a legjobb napenergia-hatékonyságot (>200 W csúcserték), a könnyűszerkezetű kialakítást (legalább 50%-kal könnyebb, mint egy szabványos napelemes üvegtető) és az autóiipari minőségi szabványoknak való megfelelést, „A” osztályú felületeket, nagy esztétikai és tervezési szabadsággal. Nagy előnye az eljárásnak, hogy komplex 3D-s formák is előállíthatók, nagyobb fokú formálhatósággal, így a technológia más alkatrészekre és iparágakra (például a vasúti vagy a repülőgépiparra) is átvihető. Az **Apollo Power** rugalmas fóliájának képességét, hogy nagyon összetett 3D-s formákhoz alkalmazkodjon, egy korábbi, az **Audival** végzett tanulmányban már vizsgálták és bizonyították.

A rugalmas napelemes fólia természetes szálakkal és bio-gyantákkal való kombinálása lehetővé teszi, hogy fenntartható, alacsonyabb CO₂-lábnyomú (sőt, élettartamuk alatt negatív lábnyomú) ökoalkatrészeket állítsanak elő.

Összeállította: Fourné Csukat Gabriella (Novia Kft.)

Black S. = Simplifying the solar panel with composites, Composites World, 2017, november
<https://www.jeccomposites.com/news/seamless-integration-of-solar-film-in-frp-materials/>