

Szélerőművek műanyagkompozitból készített részegységei

A fosszilis energiahordozók árának emelkedése, illetve a környezetvédelmi megfontolások egyre nagyobb hajtóerőt kölcsönöznek az alternatív, és ezen belül is a megújuló energiaforrások alkalmazásának. A szélerőművek rohamosan terjednek, és a műanyag kompozitok egyik legnagyobb felvevőpiacát jelentik. A fejlesztések a méretnövelés mellett a hőre lágyuló kompozitok alkalmazására irányulnak.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; kompozitok; gyantatranszferöntés; fröccsöntés; reaktív fröccsöntés; sajtolás; epoxigyanták; PA; PET.

Az olaj és a földgáz árának emelkedése, illetve a környezetvédelmi megfontolások egyre nagyobb hajtóerőt kölcsönöznek az alternatív, és ezen belül is a megújuló energiaforrások alkalmazásának. Természetesen a fosszilis energiahordozók árának csökkenése ellentétes hatású, ezért a kitermelési technológia fejlődése révén zuhanó földgázárak – elsősorban az USA-ban – a közelmúltban visszavetették a megújuló energia felhasználásának növekedését.

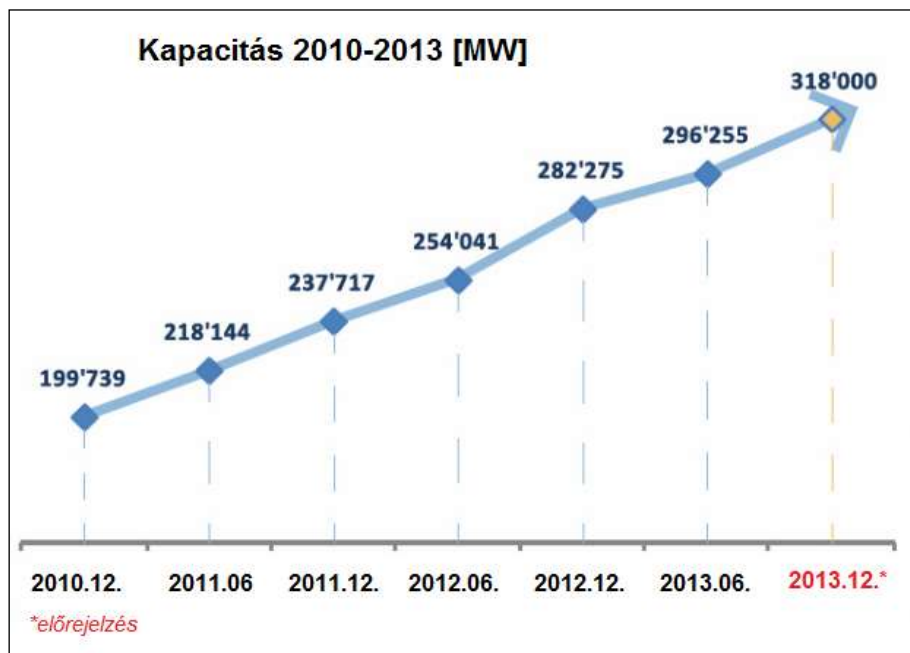
A megújuló energiaforrások alkalmazásán belül a szélerőművek jelentik a világon az egyik legnagyobb piacot (2014-ben várhatóan 4 milliárd USD) a műanyagkompozitok számára. A szélerőművek teljesítménye (1. ábra) 2013 végére a világ energiaszükségletének közel 4%-át fedezte. A szélerőművek összes kapacitása 2013-ban 35,7 GW értékkel nőtt, míg ez az érték 2012-ben 44,6 GW volt. A növekedés azonban 2014-ben várhatóan újra gyorsulni fog.

A szélerőművek kapacitásának 73%-a 5 országban, azaz Kínában, az USA-ban, Németországban, Spanyolországban és Indiában található. Jelenleg 83 országban használnak iparszerűen szélerőműveket, közülük 24-ben az erőművek teljesítménye meghaladja az 1 GW értéket (2. ábra).

A szél, a Nap és a tengerek hullám- és árapálymozgásának energiáját felhasználó erőművek általános problémáját az jelenti, hogy hogyan lehet az így időszakosan megtermelt villamos energiát tárolni, különben a kiszámíthatatlanul be- és kilépő kapacitások felborítanák a villamos elosztóhálózat stabilitását.

A szélerőművek terén az általános irányzat a minél nagyobb teljesítményű, minél nagyobb méretű berendezések felé mutat. Ennek érdekében minél nagyobb és könnyebb rotorlapátokat igyekeznek gyártani, hogy növeljék a befogott szél energiáját, de csökkentsék a rotorok tömegének terhelését. *A rotorlapát hosszának növelése négyzetesen növeli a befogott szélenergiát, de köbösen a rotor tömegét.* Jelenleg a standard 2 MW

teljesítményű erőművek rotorjai 50 m átmérőjűek, az 5 MW-os erőművek 100 m körüli átmérőjű rotorokkal rendelkeznek. Ezek szállítása már rendkívül drága és nagy logisztikai kihívást jelent. *A szállíthatóság határát jelenleg a 117 m-es rotorátmérő jelenti.*

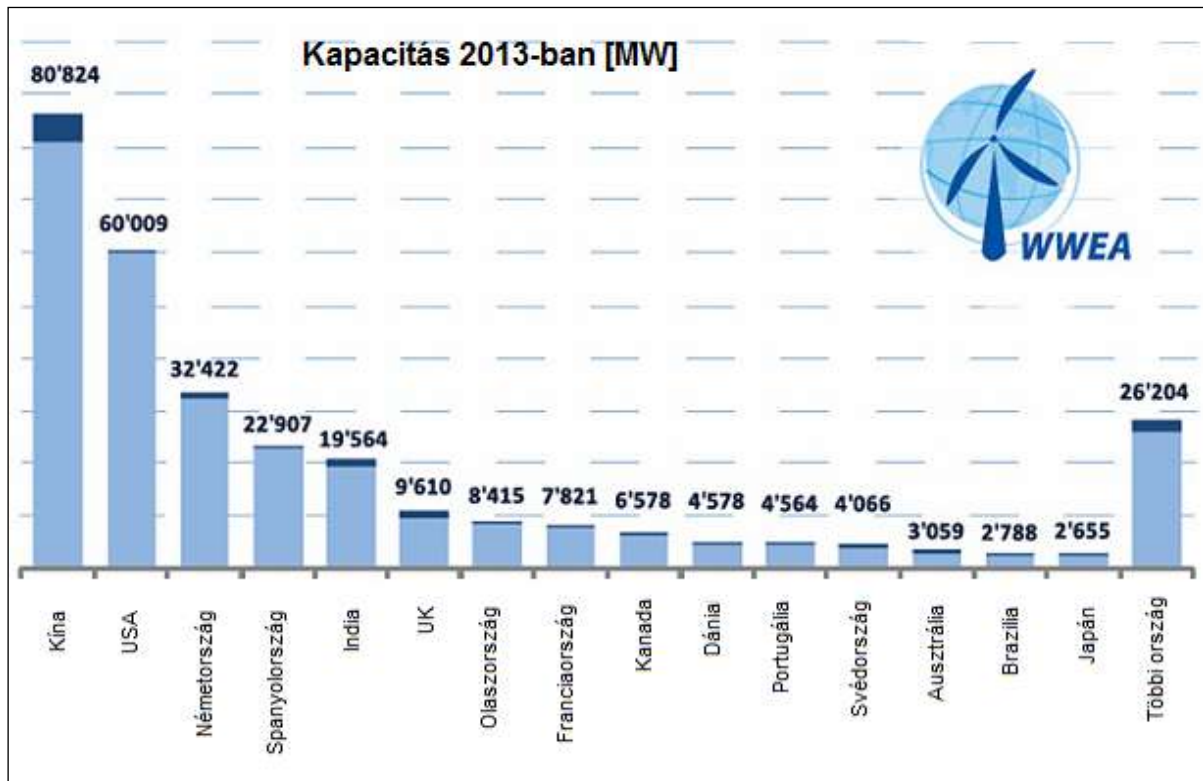


1. ábra A világ szél erőműveinek összkapacitása

A rotorméretnek növelésének határt szab mind az alkalmazott anyagok szilárdsága, mind pedig merevsége. Ezért a fejlesztések mind a mátrixanyag, mind az erősítőszálak e tulajdonságainak javítására, illetve a gyártási technológia fejlesztésére irányulnak, azaz, hogy megfelelő merevségű, hosszabb és könnyebb rotorokat készíthessenek. A nagyobb lapátok gyártása a hagyományos technológiákkal nagyobb és ezért rohamosan drágább, nehezebben kezelhető szerszámokat igényel, és egy mérhető felett a lapátok szállítása is rendkívül drága és szinte megoldhatatlan feladat lesz.

Egy új fejlesztési irány a textilborítású lapátok készítése. Ennek során a helyszínen összeszerelhető elemekből álló vázra feszítenek speciális szövetekből álló burkolatot, így elkerülhetők a szállítási problémák és a nagyméretű szerszámok használata. Ilyen megoldással lehetőség nyílik változtatható alakú, azaz a változó szélviszonyoknak mindig optimálisan megfelelő rotorlapátok kialakítására is. Az ilyen intelligens rotorlapátok ugrásszerű fejlődést jelentenének a szélenergia felhasználásában. A vezetékek nélküli érzékelők és távközlési rendszerek kombinálásával lehetőség nyílik a szélviszonyok jobb előrejelzésére és a rotorok geometriájának optimalizálásával nagyobb energiahatékonyság mellett kisebb mechanikai terhelések érnék a szerkezetet.

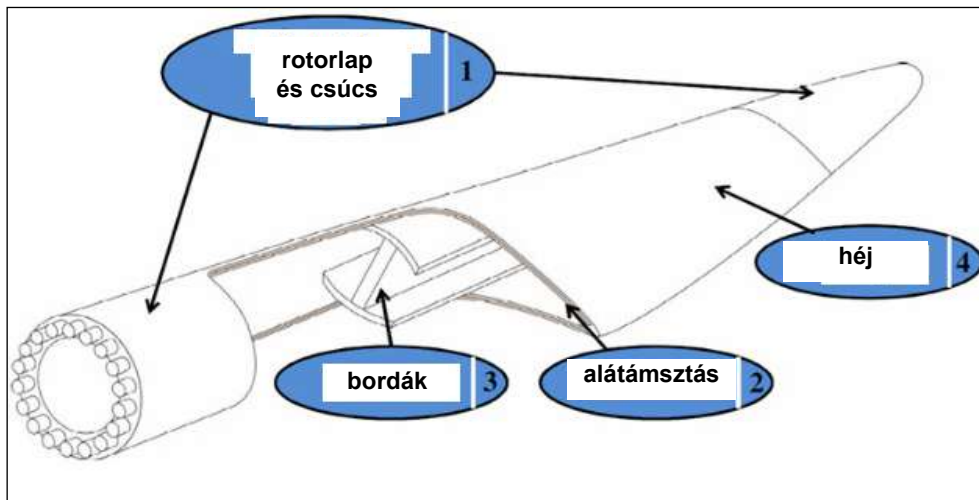
A fejlesztések egy másik ágát jelentik a hagyományos, vízszintes tengelyű rotorok helyett a függőleges tengelyű rotorok alkalmazása. Ezeket különösen a tengerbe telepített, általában igen nagy szél erőműveknél alkalmazzák.



2. ábra A világ országainak szélérőmű-kapacitása a World Wind Energy Association (WWEA) adatai szerint. A sötét mezők a 2013-ban telepített új kapacitásokat jelzik

Egyes fejlesztések arra irányulnak, hogy a hagyományosan alkalmazott üvegszál-erősítésű epoxigyanta rendszereket hőre lágyuló műanyagokkal helyettesítsék. Ennek egyik módja az, ha a rotorlapát bizonyos elemeit, azaz a rotor talpát, csúcsát, a héjszerkezet alátámasztását és a merevítőbordákat (3. ábra) készítik hőre lágyuló, erősített műanyagból. Előnyök:

- a részletes feszültségelemzés eredményeként nagy teljesítményű hőre lágyuló műanyagkompozitokkal tömegcsökkentést eredményezve, gazdaságosan kiválthatók a rotortalp és -csúcs térhálós anyagai,
- a héj alátámasztását hőre lágyuló habokkal lehet megoldani, amelyek sűrűségét a terhelésnek megfelelően lehet változtatni, optimalizálva a profil tömeg/stabilitás arányát, és automatizált, gyorsabb eljárást hozva létre,
- a nyíróerőkkel szembeni merevítést szolgáló bordarendszer kialakítása hőre lágyuló kompozitokból kisebb tömegű, a terhelésre optimalizált megoldást kínál,
- szálerősítésű hőre lágyuló héjszerkezet kifejlesztésével a környezeti hatásoknak jobban ellenálló, jégmentes és kopásállóbb rotor állítható elő.



3. ábra Hőre lágyuló kompozit rotorlapátelelemek

Mint a műanyag-feldolgozók általában, a rotorlapátok gyártói is igyekeznek a termelékenységet növelni, amiben az új mátrixanyagok és erősítőszálak alkalmazása kulcsszerepet játszik. Az egyre nagyobb rotorlapátokat igyekeznek két vagy esetenként több darabból a helyszínen összeszerelhetővé tervezni, ezáltal elkerülhetnék a nagy és drága gyártószerszámok használatát, illetve a túlméretes darabok rendkívül drága szállítását. A rotordarabok összeszerelését lehetővé tevő csatlakozások és plusz alkatrészek, illetve a szerelés költségeit túlkompenzálják a szállítási költségek terén elért megtakarítások, és a nagyobb rotorlapátok hatékonyabb energiatermelést biztosítanak. Ilyen megoldásokat kínál a Gamesa cég, amely laminálással beépített fémcsatlakozásokkal, összecsavarozható szegmensekből állít elő nagyméretű rotorlapátokat. Az 5 MW teljesítményű szélerőművek turbináinak 100 m átmérőjű rotorlapátjait a hagyományos méretű kamionok által szállítható szegmensekből a helyszínen szerelik össze. Az összecsavarozás után a csatlakozásokat fémburkolattal látják el, amely megadja a lapát töretlen, aerodinamikailag egységes felületét. Az összeszerelt lapát geometriája és energiahatékonysága az egy darabból készültével azonos. Ugyanakkor a saját fejlesztésű könnyített, szén- és üvegszál-erősítésű szerkezet tömege mintegy 25%-kal kisebb: a 100 m átmérőjű rotorlapátok a hagyományos 20 t helyett csak 15 t. Hasonló elven készülnek más cégek (pl. Enercon, Blade Dynamics) szegmentált rotorlapátjai is.

Az alapanyaggyártók minél gyorsabban és minél alacsonyabb hőmérsékleten megkötő polimereket fejlesztenek. A hagyományos, üvegszál-erősítésű epoxigyantás kompozitrendszerek térhálósodása meglehetősen lassú folyamat, az epoxigyanták viszkozitása nagy, ezért az erősítő üvegszálzövet elárasztása vákuumtechnikával is lassú folyamat. *A hőre lágyuló kompozitok fröccsöntése sokkal termelékenyebb eljárás, de ezzel a módszerrel csak kisméretű rotorok készíthetők.* A több tucat méter hosszúságú szélerőműlapátok gyártására ezért eddig csak térhálósodó gyantákat alkalmaztak. Holland kutatók most ciklikus molekulaszervezetű poli(butilén-tereftalát)-tal

(PBT) és a poliamid 6 (PA 6) monomerével, az ϵ -kaprolaktámmal igyekeznek a térháló epoxigyantákat kiváltani. A kaprolaktám viszkozitása (kb. 10 MPas) mintegy tizede az epoxigyantákénak, ezért sokkal gyorsabban és könnyebben kitölti a szerszámüregt és enyhe exoterm reakcióval polimerizál. Sikeresen készítettek 50 mm vastag kompozitlaminátokat is. Az üvegszálszövetet speciális felületkezelő anyaggal ellátva sikerült kémiai kötést létrehozni az üvegszálak felülete és a poliamid között, ami tovább növelte a kompozitrendszer szilárdságát és csökkentette a poliamid egyensúlyi nedvességfelvételét is. Ezáltal az új kompozit mechanikai szilárdsága vetekszik az epoxirendszerekével statikus terhelésekkel szemben, míg dinamikus terhelésekkel és fárasztó igénybevételekkel szembeni tulajdonságai jobbak.

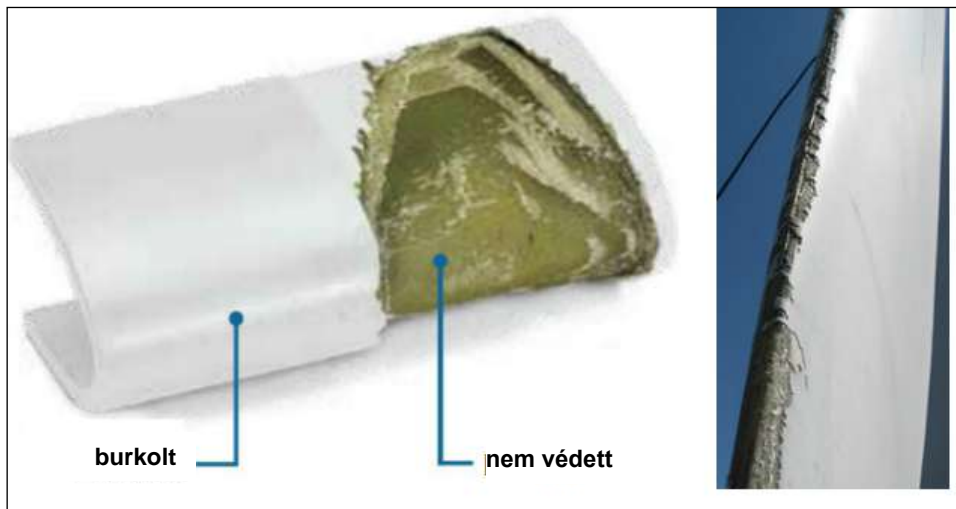
A BASF *Kerdyn* PET struktúrhabját is sikeresen alkalmazták szélérőmű-rotorok gyártásához. A táblák formájában gyártott habot jó hőállósága és kémiai ellenállása miatt a rotorlapátok merevségének növelésére alkalmazzák. A cég jó folyóképességű *Baxxodur* epoxirendszerével együtt megkönnyítik a nagyméretű, könnyű rotorlapátok gyártását. A PET hab előnyei:

- jó mechanikai (nyomó és nyíró) szilárdság,
- tág gyártási lehetőségek a nagy hőállóság és kémiai ellenálló képesség következtében,
- alkalmazható infúziós, prepreg és gyantatranszferöntő technológiákhoz, illetve ezek kombinációihoz,
- sokféle gyantarendszerhez alkalmazható,
- könnyű és költséghatékony kompozitszerkezetet biztosít.

A PET hab kellő rugalmasságot ad a szélökések és turbulenciák következtében gyakori dinamikus igénybevételeknek kitett rotorlapátok számára.

Az eróziós hatások sok problémát okoznak a szélérőművek rotorlapátjainál. A lapátok igen nagy (akár 400 km/h) kerületi sebességgel forgó éleinél a vízcseppek, jég-eső, sópermet vagy homokszemcsék komoly eróziós hatást gyakorolnak, különösen a tengerben vagy sivatagokban felállított szélérőművekre. Csak idő kérdése, mikor keletkeznek kráterek, kitöredezések, vagy akár delamináció (4. ábra). A lapátélek eróziója az aerodinamikai jellemzők romlása következtében jelentősen lecsökkenti a rotorok energiahatékonyosságát. A 3M cég által kifejlesztett kétkomponensű poliuretánbevonat akár a gyártás befejező szakaszában, akár a terepen végzett utólagos javítások során jó eróziós védelmet és időjárás-állóságot biztosít. Az egy rétegben alkalmazható bevonat akár ecsettel is felhordható.

A sérült lapátok javítását vagy a helyszínen végzik vagy a leszerelt lapátokat a gyártó üzemében újítják fel. Azt, hogy melyik megoldást választják, a javítás időigénye és költségei, illetve a károsodás mértéke határozza meg. Újszerű állapotot azonban csak a gyártóüzem jól felszerelt műhelyében lehet elérni, ahol a helyszínen helyrehozhatatlan sérüléseket is ki lehet javítani. A szélfarmok működtetői egyre inkább belátják, hogy a karbantartásra, eróziós védelemre és villámhárításra fordított összegek jobb megtérülést biztosítanak, mint a kapacitások extenzív növelése.



4. ábra A 3M poliuretánalapú védőbevonatával burkolt és anélkül hagyott rotorlapát felületének eróziója, illetve jobbra egy erodált lapátél fényképe

A fejlesztők munkáját a méretezést megkönnyítő és a berendezések működését szimuláló számos számítógépes program is segíti. Ezek lehetővé teszik az aerodinamikai jellemzők, a szerkezeti tényezők modellezését és a rotorlapátok kialakításának optimalizálását. Ilyen rendszereket kínál pl. az AnalySwift, amely a légiközlekedésben és az energetikában szerzett tapasztalatait egyesítette az Altran céggel. Utóbbi a szélturbinák aerodinamikai és szerkezeti számításait végző rendszerével lehetővé tette a lapátok előzetes, közelítő méretezését és így egy optimalizáló rendszert sikerült létrehozniuk.

A szélturbina-fejlesztések jelentős része a tengeri és ezen belül is a parttól távolabb a mélyebb vizekben felszerelhető, úszó, vertikális tengelyű nagyméretű erőművek létrehozására irányul. Itt ugyanis a szélviszonyok egyenletesebbek, turbulenciáktól kevésbé érintettek, mint a szárazföldön telepített erőműveknél. A nagyobb méretek gazdaságosabb energiatermelést biztosítanak. Elkerülhetők az esztétikai problémák miatti lakossági konfliktusok, illetve a telepítésre alkalmas területek szűkös választéka sem jelentkezik korlátozó tényezőként. Természetesen a nyílt tenger kemény feltételeinek megfelelő anyagokat és technológiákat kell alkalmazni, de ezeket a kihívásokat a műanyagipari fejlesztők képesek kezelni.

Egy másik irányzat a kisméretű, városi környezetben is alkalmazható, ipari üzemek, lakóházak és farmok közelében helyszíni energiatermelésre használható erőművek. Ezek jórészt szintén axiális tengelyű rotorokat használnak (pl. a brit McCamley Ltd.), mert így nincs szükség nagyméretű tartóoszlopra, a turbina a háztetőkre is felszerelhető. Az ilyen kis tömegű, könnyen szállítható és felszerelhető rendszerek a következő előnyöket kínálják:

- nincs szükség hálózati energiára a turbina beindítására, már 1,8 m/s szélesebségnél elindul az energiatermelés, de viharos szélben is működik, nem kell leállítani,
- kis rezgés- és zajszint.
- a soklábú rögzítési mód miatt csekély szilárdsági követelmény a tetőszerkezetel szemben,
- a rotorok védőburkolata pluszvédelmet biztosít,
- esztétikus megjelenés.

Összeállította: Dr. Füzes László

Rosato D. V.: Economic and social forces are driving trends in material innovation and applications = *Plastics Engineering*, 70. k. 3. sz. 2014. p.12–21.

Rosato D. V.: Market and technology trends driving wind energy forward = www.multibriefs.com/briefs/exclusive/plastics_wind_energy_1.htm/1. 19.05.2014.

Rosato D. V.: Highlighting Novel Material Advances in Wind Energy = www.multibriefs.com/briefs/exclusive/plastics_wind_energy_1.htm/1. 02.06.2014.

Rosato D. V.: Wind energy processing technologies steadily advancing = www.multibriefs.com/briefs/exclusive/plastics_wind_energy_1.htm/1. 16.06.2014.

Rosato D. V.: Wind energy applications – the promising road forward = www.multibriefs.com/briefs/exclusive/plastics_wind_energy_1.htm/1. 30.06.2014.

Energiacímke a műanyag- és gumigyártó gépekre

Hosszú viták után a műanyag- és gumipari gépeket gyártó ipar európai szövetsége, az Euromap (European Plastics and Rubber Machinery) 2014. október 1-jén energiatanúsítási címkét vezetett be az iparág gépeire. A szövetség a fröccsöntő és a fóliafúvó gépekre már korábban kidolgozott egy energiamérési szabványt, de az értékelés módját nem egységesítették. Mostani ajánlásában az Euromap ezt a hiányosságot pótolta. Az A5-ös méretű címkén az energiaosztály (1–10 között) egy háromszögben látható, amely felett a gyártó neve és a gép típusa, alatta pedig a mérési szabvány szerepel. A háztartási eszközökkel szemben ez a címke nem kötelező, és a besorolást nem kell harmadik féllel igazoltatni.

M. Cs-né

Kunststoffe, 104. k. 10. sz. 2014. p. 6.