

Korszerű anyagokból, korszerű technológiával kompozitból gyártott könnyűszerkezetes építőelemek

A társított anyagok, az ún. kompozitok fejlesztése révén ezekből ma korábban fémekből készített szerkezeteket is lehet gyártani, amelyek terhelhetősége nem kisebb a fémszerkezetekénél, de azoknál sokkal könnyebbek. Ezért egyre nagyobb szerepet kapnak a közlekedési eszközökben – a repülőgépekben és a gépkocsikban, újabban a hajókban is. A szélenergia hasznosítása pedig nélkülük lehetetlen volna.

Tárgyszavak: műanyag-technológia; könnyűszerkezetes építőelemek; szénszál; üvegszál; járműgyártás; szélerőmű.

A könnyűszerkezetes építés elve az építőiparban született meg, de ezt az elvet az elmúlt években a járműiparban és más iparágakban is egyre szélesebb körben alkalmazzák. A könnyűszerkezetes elemek többnyire ún. kompozitokból (társított anyagokból) készülnek, amelyek legalább kétféle anyagból állnak; közülük van, amelyik az erősítést szolgálja, van, amelyik a mátrixot képezi. *Az erősítés készülhet természetes növényi rostból, üvegszálból vagy szénszálból.* A szálakat több rétegben, egymással párhuzamosan, meghatározott irányban ágyazzák be az egyes rétegekbe, amelyekben a szálak iránya (a gyártásirányhoz viszonyított hajlásszöge) eltérő lehet. A szálakból (néha többféle szálból) előre szőtt textilt is készíthetnek, amely lehet egyszerű sík szövet, de bonyolult felépítésű 3D-s szerkezet is.

A könnyűszerkezetes elemekkel szemben igen nagyok a követelmények, mert gyakran korábbi fémszerkezetek helyettesítésére szánják őket. A szálszerkezetnek kell felvennie a terhelést, és az elemre ható erőt el kell osztatnia az egyes szálakon keresztül a mátrixban. A szálszerkezetet ezért a várható terhelésnek megfelelően kell kialakítani. Az elembe nem maradhatnak hibahelyek, amelyek gyenge pontokat képeznek. A korábbi kézi laminálás helyett ezeket automatizálható eljárással (síkelőtermékből, pl. gyantával előre impregnált üvegszál-paplanból, ún. SMC-ből sajtolással, előformázott száraz erősítővázból gyantainjektálással vagy infúzióval) gyártják. Az eljárásban a gyantának gyorsan meg kell szilárdulnia a megfelelő termelékenység érdekében, és szavatolni kell a kész darabok reprodukálható minőségét.

Az Aacheni Műszaki Egyetem (RWTH) részeként működő Textilkutató Intézet (ITA, Institut für Textilforschung) érzékelők beépítésével vizsgálja a társított anyagok tönkremenetelének mechanizmusát, elsősorban azt, hogy hogyan indul meg a textillel erősített kompozitok tönkremenetele a határfelületeken sztatikus és dinamikus terhelés hatására. Céljuk, hogy kutatási eredményeik alapján csökkenteni lehessen az empiri-

kus próbák számát, és előre meg lehessen becsülni a törés bekövetkezését előidéző erő nagyságát. További céljuk, hogy módszereket fejlesszenek ki a sérült szerkezetek javítására vagy öngyógyulására.

A szénszálalás műanyagokkal foglalkozó németországi vállalatok és intézmények egyesülete, az augsburgi központú Carbon Composites e.V. (CCeV) 2013 decemberében megalakította első regionális (keleti) részlegét (Carbon Composites Ost) Drezdában, ahol fő partnere a könnyűépítészet és műanyagtechnika kutatóintézete (Institut Leichtbau und Kunststofftechnik) lett. Az egyesület más német térségekben is tervezi hasonló részlegek alapítását. Ezek feladata a szénszálalás kompozitok népszerűsítése, fejlesztése, kutatása. A keleti részleg alapítójaként 15 cég és kutatóintézet vett részt. A részleg működési területe jelenleg Szászországtól Tübingián és Alsó-Szászországon keresztül Brandenburgig és Berlinig terjed.

Európában Németország a kompozitok fő felhasználója, és a düsseldorfi vásárrésztlet Európa egyik legnagyobb ipari könnyűszerkezetes központja. Itt rendezték meg 2014. október 7–9. között a Composite Europe 2014 kiállítást, ahol a fő téma ismét a könnyűszerkezetes elemek nagy sorozatú előállításának automatizálása volt. Bemutatták a társított anyagok teljes választékát, és felvonultatják az autógyártás, a repülőgépgyártás, az űrtechnika, a hajóépítés, a szélenergia-hasznosítás és az építőipar legújabb eredményeit. A konferenciát október 5–6. között megelőzte a már hagyományos, évente megtartott nemzetközi AVK-konferencia, amelyen Európa minden részéből érkeztek szakértők, hogy megvitassák a kompozitok kutatásának legújabb eredményeit.

Kompozitokhoz kínált új komponensek

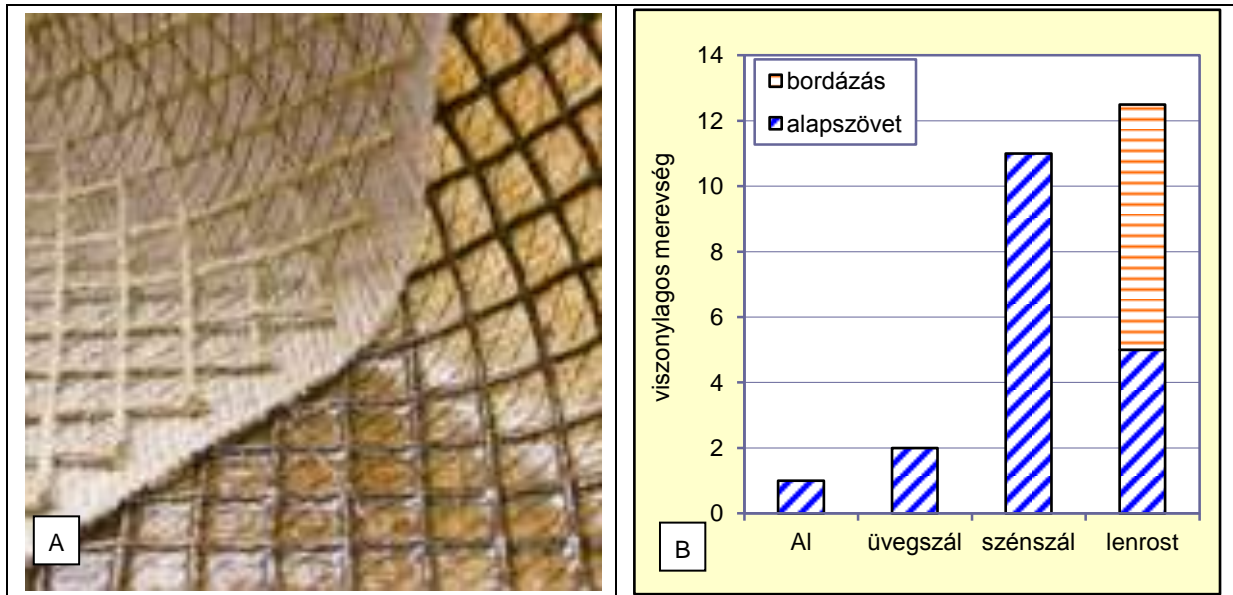
Az erősítőanyagokat és a polimermátrixot gyártó cégek is segítik az új szerkezetű szendvicsszerkezetek előállítását. Az Owens Corning cég Composite Solutions elnevezésű üzletága pl. olyan új kompozitokról adott hírt, amelyek alkalmazása megkönnyíti az acélszerkezeteknél 30%-kal könnyebb szendvicsszerkezetek előállítását. Ilyen a BASF és különböző SMC-gyártók közreműködésével kifejlesztett, *ME 1510* típusú üvegszálrovingot és epoxigyantát tartalmazó új SMC; a BASF és a TenCate cég együttműködésével létrehozott *Thermopreg PA*, amelyet rovingból, PA6 és PA66 szálakból, továbbá PBT-alapú szalagokból laminálással állítanak elő.

A BComp cég új *PowerRibs* márkanevű lencszálalásos erősített kompozitok merevebbek, mint a szénszállal erősítettek. A szövet merevségét az alapszövetből kiemelkedő bordák adják. A szövet szerkezetét az *1/A ábra*, az ilyen szövetrel erősített kompozitok alumíniumhoz és versenytársaihoz viszonyított merevségét az *1/B ábra* mutatja.

Szénszálalás kompozitok (CFRT) és más szállal erősített műanyagok a repülőgépgyártásban

A 2013-as AVK konferencián a szénszálalás szöveteket gyártó gépekkel foglalkozó Lindauer Dornier GmbH tulajdonosa előadásában azzal érzékeltette a szénszállal

erősített műanyagok rohamos terjedését a repülőgépgyártásban, hogy míg 2005-ben az Airbus A380-as gépben még csak 22% volt a szénszálal műanyagok aránya, a Boeing 787-be 2009-ben és az Airbus A350-be 2013-ban már 50% ilyen kompozitot építettek be.



1. ábra A BComp 3D-s bordázott erősítő lenszövete (A kép) és az ilyen szövettel készített kompozitok viszonylagos merevsége az alumíniuméval (Al = 1) és az üveg-, ill. szénszállal erősített kompozitokéval összehasonlítva (B kép). A lenszálal kompozit végső merevsége a bordák vastagságától függ.

A Dornier cég a CFM International céggel együttműködve (utóbbi a repülőgépmotorokat gyártó Snemca és a General Electric 50:50 arányú közös vállalata) fejleszti ki a *Leap* (leading edge aviation propulsion ~ vezetőélű légi hajtás) márkanévű turbólapátos hajtóművet, amelyben a ventilátorlapátok élét titánszalaggal vonják be (2. ábra). A lapátok vázát a Dornier cég gépén szőtt 3D-s szénszálszövetből előformázással készítik el, ezt epoxigyantával itatják át (gyanta-transzferöntés vagy gyantainjektálás, RTM eljárás). A ventilátor kör alakú házát ugyancsak RTM-CFRT eljárással gyártják.

A CFM56 típusú hagyományos motorokban a ventilátorlapátok száma 24–36, a 3D RTM-CFRT eljárással előállított *Leap* típusúban 18. Az utóbbiban a ház és a lapátok 30%-kal könnyebbek, mint az alumíniumból készített szokásos elemek, ezáltal a motor tömege 227 kg-mal lett kisebb.

Az új *Leap* típusú motorokat a tervek szerint 2016-ban kezdik forgalmazni, és elsőként az Airbus 320neo és a Boeing 737 Max típusú repülőgépekbe építik be őket. A CMF 2013-ban egy franciaországi légi bemutatón azt nyilatkozta, hogy már 5000 új

motor megrendelését tartják számon. 2020-ban évente 1700 ilyen motort szándékoznak gyártani, és ennek érdekében 2014-ben két új gyárat építenek, egyet az USA-ban (Rochester, New Hampshire), egyet Franciaországban (Commercy). A kínaiak is érdeklődnek az új motor iránt.



2. ábra A kísérleti *Leap* repülőgépmotor szén-szálalás epoxigyantából készített ventilátora a titánélű lapátokkal

A Dornier cég más szegecselt alumínium repülőgép-alkatrészeket helyettesítő RTM-CFRT elemek fejlesztését is tervbe vette. Szerinte az alumíniumcsuklók is pótolhatók szén-szálalás elemekkel. Ennek bizonyítására elkészítette egy 1928-as *Dornier Do X* típusú repülőgép bonyolult alumíniumcsuklóinak szén-szálalás mását 3D-s RTM-CFRT technológiával.

A drezdai Elbe Flugzeugwerke GmbH (EFW) is együttműködik az *Airbus* repülőgépek fejlesztésében. Az ugyancsak drezdai Leichtbau-Zentrum Sachsen GmbH-val (LZS) közösen újszerű fenékszerkezeten dolgoznak az *Airbus A350XWB* projekt keretében. Munkájuk egyik eredménye egy szimulációs technika kifejlesztése, amellyel a szállal erősített szerkezetek várható viselkedése tanulmányozható. Általa sokkal rövidebb idő alatt dönthető el, hogy melyik a legnagyobb teherbírással rendelkező geometria, melyik az optimális rétegfelépítés. A szimulációval minimálisra csökkenthetők a költséges és időigényes kísérletek.

A szimulációs program jó szolgálatot tett két beltéri modul, a fedélzeti konyha és a fedélzeti WC-fülke kifejlesztésében. Ezeket a lehető legkisebb térkihasználással úgy kellett kialakítani, hogy megfelelően merevek és szilárdak legyenek, emellett könnyen lehessen kisebb változtatásokat végezni rajtuk az egyedi kívánások kielégítésére. Tapasztalataikat jól tudják majd hasznosítani a fenékszerkezet tervezésekor, ahol a szá-

mos funkció teljesítése mellett elvárják a hosszú élettartamot és a karbantartás egyszerűségét is.

A munka során bebizonyosodott, hogy a nagy terhelésnek ellenálló szénszálás szendvicslemezek jól helyettesítik a fémszerkezeteket. A tervezés és az elkészült prototípusok után a következő feladat a gazdaságos sorozatgyártás megszervezése. Az előzetes számítások szerint a szénszálás szerkezetek alkalmazása tömegük és költségeik, továbbá korrózióállóságuk révén előnyösebbek lesznek fémből készült elődeikénél. A szénszálás kompozitból készített új elemek engedélyeztetési eljárása folyamatban van. Bevezetésüket követően az elemeket az EFW fogja gyártani.

Az üvegszálás kompozitokat azonban ma még jóval nagyobb mennyiségben használják fel, mint a szénszálásokat, és a repülőgépgyártásban sem nélkülözhetik őket. *Üvegszálás kompozitból elsősorban belső téri elemeket készítenek.* Az Airbus és az üvegszálás sajtolóanyagokat és sajtolópaplanokat (BMC/SMC) gyártó Polynt cég együttműködésével kifejlesztett SMC-ből (telítetlen HUP27/25-RN9010 vinilészter típusú poliésztergyantával átitatott üvegpaplan) sajtolt lemezekből alakítják ki az Airbus repülőgépek csomagterét. A BMC/SMC sajtolásával készített lemezek olcsóbbak, mint a kézi laminálással korábban gyártott üvegszálás fenol-formaldehid, ill. szénszálás epoxilemezek. A sajtolás automatizálható, az üvegszálás poliészterlemezek alapanyagai 50%-kal kevesebbe kerülnek, a lemezek 400 perc helyett 5 perc alatt állíthatók elő, az előforma fűrészelés vagy fűrés helyett csákolással vágható ki (mint a liner), nincs szükség külön felületi rétegre vagy felületkikészítésre.

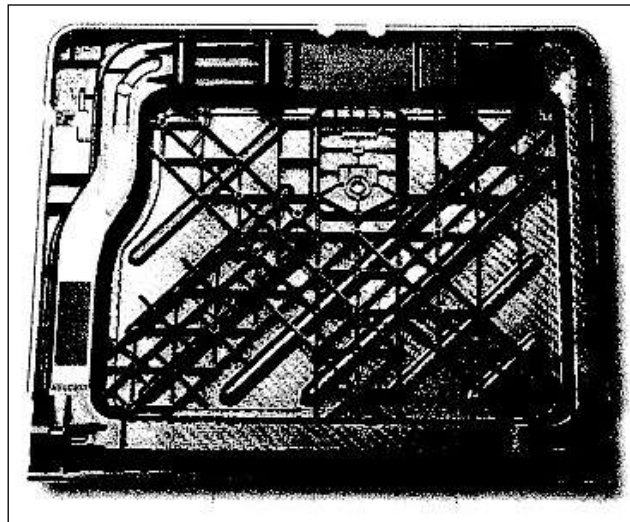
Kompozitok a gépkocsikban

A Dornier cég nemcsak repülőgépelemekben érdekelt; szénszálás textiljeit gépkocsik alkatrészeinek vázaként is szeretné hasznosítani. 2013-ban már bemutatott néhány ilyen modult, amelyet az *Alfa Romeo 4C* és a *BMW i3* modelljébe építettek be. A BMW 2001-ben *Gina Concept* elnevezéssel bemutatott gépkocsijában (amelyen a karosszériát a vázra feszített, poliuretánnal bevont rugalmas textil képviselte) az alumíniumváz helyett egy CFRP-ből készített vázat is el tudna képzelni.

A Johnson Control (JCI) üvegszálás kompozitból pillekönnyű gépkocsiülést fejlesztett ki. A cél az volt, hogy az ülés ne legyen több, mint 9,5 kg, ebből a CFRP szerkezet mindössze 7,5 kg. A cég az ülést a *Camisma* (betűszó: carbon fibre/amid/metal-based interior structure with multi-material system approach kezdőbetűiből) projekt keretében készítette el. Partnerei voltak: Evonik Industries (a PA12 poliamid szállítója), HBW Gubesch (műanyag-feldolgozó), Toho Tenax (szénszálak és szénszálászövetek gyártója), ITA, IKA (az aacheni RTWH keretében működő textilkutató, ill. járműkutató intézet). A szerkezetet egy speciális eljárással, a *Spriform* eljárással készítették el, amelyben a fröccsöntést a hőformázással kombinálják. Az első lépésben a kaprolaktámmal átitatott párhuzamos szénszálakat hőkezelik, aminek hatására a laktám PA12-vé polimerizál. Az így előállított szalagokat újra felmelegítve speciális *Spiroform* szerszámban nem szőtt PA12 szálakkal és fémbetétekkel sajtolják össze. A kapott 3D-s szénszálás formadarabra (szerves bádogra) ezután az Evonik cég *Vestamid*

L-GF jelzésű, 30% üvegszálat tartalmazó PA12-jéből fröccsöntenek különböző funkció elemeket tartalmazó burkolatot. A JCI a 2013-as AVK konferencián egy RTM-CFRP eljárással hőre keményedő gyantából előállított háttámlát mutatott be, amelyre fröccsöntéssel vitték rá a párnázást.

A 2013-as Composites Europe kiállításon a BASF ugyancsak egy gépkocsiülés háttámláját mutatta be, amelyet a JCI készített el a Hyundai cég számára. A támla váza üvegszálal PA6 szalagokból és üvegszövetet tartalmazó poliamid „szerves bádogból” épült fel. A burkolatot a BASF optimalizált ütésállóságú *Ultramid ZG7 COM* jelzésű PA6-jából fröccsöntötték rá. A bemutatásra szánt mintadarabot *Cifo* eljárással (kombinált in-mold hőformázással és ezt követő ráfröccsöntéssel), 1,5 mm vastag szerves bádoglemezből állították elő. A támla hátsó oldalát a 3. ábra mutatja.



3. ábra A JCI-nél a Hyundai számára a BASF alapanyagaiból gyártott háttámla hátsó oldala

A Plastic Omnium cég a *Peugeot C4* és *Picasso* nevű modelljéhez gyárt fenéklemest SMC és acél kombinációjával. A gyártószerszámot a franciaországi DMM cég fejlesztette ki. A hibrid fenéklemez tömege 3 kg-mal (40%-kal) kisebb, mint a tiszta acélból gyártott korábbi fenéklemezé. A Peugeot cég franciaországi (Douai) és spanyolországi (Arevalo) gyárában összesen napi 2500 ilyen fenéklemest építenek be a gépkocsikba ponthegeztéssel. A DMM szerint a hibrid termék gyártásának beruházási költségei 30%-kal kisebbek voltak, mint az acéllemezéé, emellett ennek az új gépkocsielemnek az elődjénél jobbak az aerodinamikai tulajdonságai.

A kompozit szuperszerkezet elve a hajóépítésben

A hajóépítésben rendkívül fontos, hogy az építőelemek minél könnyebbek legyenek, de ugyanilyen fontos, hogy ne gyulladjanak meg és ne égjenek könnyen. A hajók

szerkezeti elemeit ezért a korábbi előírások szerint kizárólag nem éghető anyagokból lehetett készíteni. Kizárólag fémekből azonban soha nem lehet olyan könnyű szerkezeteket készíteni, mint szállal erősített műanyag kompozitokból. Mivel a teherhajókon nagyon lényeges, hogy azon ne hordozzanak felesleges terhet, ezeken próbálták ki az ún. kompozit szuperszerkezeteket. A *CSC-elv* (Composite supestructure concept) alapján felépített elemek olyan szendvicsszerkezetek, amelyeknek nagyon könnyű és nagyon erős, merev magja van, az utóbbi alapanyaga legtöbbször balsafa és kemény PVC hab. Ezt üveg- és szénszálból álló réteg borítja, amelyet a maghoz jól kötődő polimergyantával itatnak át. A legfelső réteg az égésgátlást szolgálja. A mag és az erre épülő rétegek összetételének és vastagságának variálásával különböző igényeket tudnak kielégíteni, és a hajó külső és belső részébe szánt elemeket tudnak előállítani.

A hajóépítésre nagyon szigorú szabályok vonatkoznak. A SOLAS nevű szabályzat II. fejezetében a 17. pont vonatkozik az éghetőségre. Ennek követelményeit a *CSC* szerkezetek kielégítik, ezért az ilyen szerkezeteket ma már nem csak teherhajókban, hanem utasszállító hajókban is szabad alkalmazni, és nem csak új hajókban, hanem felújításkor is.

A svédországi Kockums hajógyár és a szendvicsszerkezetek és azok magjának gyártásában járatos DIAB cég a Thermal Ceramics Europe céggel közösen fejlesztett ki kormányzati támogatással a *Lass* (lightweight construction applications at sea) projekt keretében a fedélzet kialakításához és különböző kültéri és beltéri modulokhoz vagy választófalakhoz alkalmas szendvicselemeket.

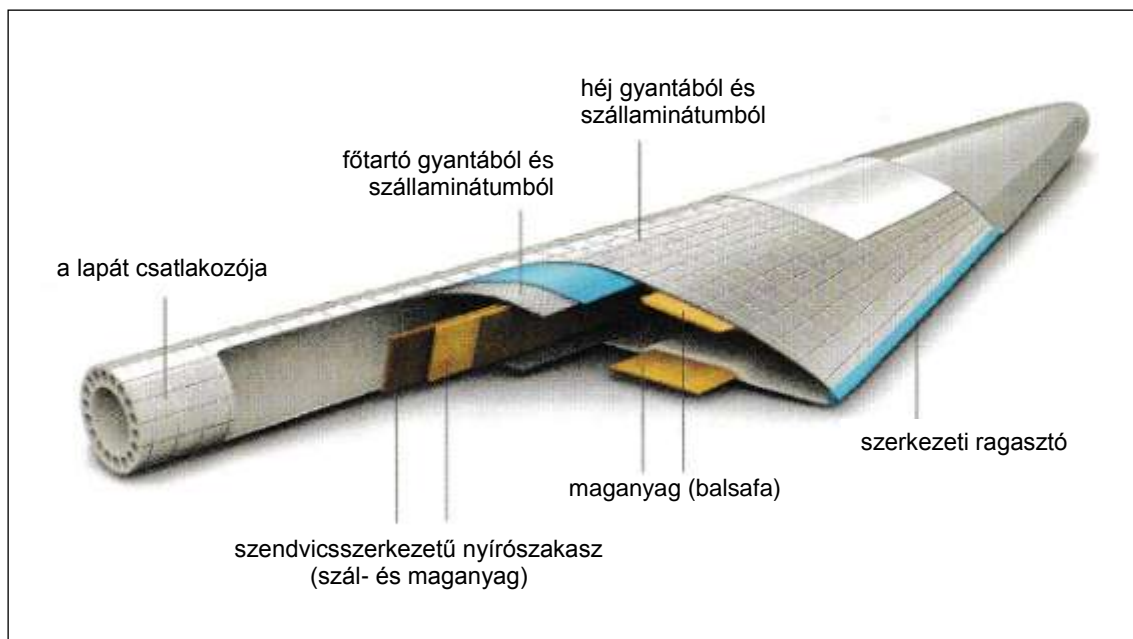
A Saertex és a BÜFA Composite Systems cég *Leo* (lightweight with extreme opportunities) márkanévű lemezeiben több rétegben különböző szögben fektetett üveg- és szénszálak vannak, amelyek kötőanyaga égésgátlót tartalmazó vinilésztertípusú poliésztergyanta. Alkalmasak a tengeri környezetben használt, fenol-formaldehid alapú kompozitok helyettesítésére. A lemezek nagyon könnyűek. A dokkokat burkoló A60-as szigetelő fémlamezek 79 kg/m^2 tömegéhez képest a *CSC* Company szuperstruktúra-elvével készített lemezek tömege mindössze 26 kg/m^2 . Számítások szerint a nagy olajszállító hajókba beépített *CSC* szendvicsszerkezetek beruházási költségei egy év alatt megtérülnek. Egy svájci cég villamosokhoz burkolóelemeket is készített ilyen lemezekből.

A világ legnagyobb könnyűszerkezetes építőeleme

A világ legnagyobb könnyűszerkezetes építőeleme a *szélerőművek rotorlapátja* (4. ábra). Az ilyen szerkezetekben mátrixként alkalmazott epoxigyanta és telítetlen poliésztergyanta mellett elkészült egy új lapátípus poliuretángyanta mátrixszal. Kifejlesztője, a Bayer Material Science szerint ennek számos előnye van. A cég elkötelezte magát a klímavédelem mellett, és a dániai Otterupban szélerő-kompetenciacentrumot alapított, amelynek fő feladata a fenntartható energiaellátás elősegítése. Ehhez új anyagokat és optimalizált feldolgozási eljárásokat próbál kifejleszteni. Ilyen a *Baydur*

PUR termékcsalád új tagja, amelyet a rotorlapátok gyártásakor vákuumos infúzióval visznek rá az erősítő vázra.

A rotorlapátok külső burkolata két fél héjből épül fel. Magjukat balsafából és gyűrődésmentes végtelen üvegszálas anyagból alakítják ki. A gyantát a szerszámban infúziós csatornákon keresztül oszlatják el. A váz előkészítése után a rendszert fóliával hermetikusan lezárják, vákuummal kiszívják belőle a levegőt, majd megindítják a gyanta infúzióját. Az adagolóberendezés folyamatosan, nyomja át a folyékony reaktív gyantát a vázon, amelyet egyenletesen és buborékmentesen teljesen átítat. Ha ez befejeződött, felfűtik a szerszámot, hogy beindítsák a térhálósítást. Ha a gyanta megkeményedett, kiveszik a fél héjat a szerszámból és lehúzzák róla a fóliát.



4. ábra Egy rotorlapát felépítése

A rotorlapátok gyártásához főképpen epoxigyantát, kisebb részben telítetlen poliésztergyantát használnak. Az utóbbi hátránya, hogy térhálósodás közben akár 7%-ot is zsugorodhat, ami a nagyméretű lapátokon a végtelen üvegszálak elmozdulását, a váz torzulását okozhatja. Emiatt a lapátban feszültségek maradnak, csökkenhet a szerkezet szilárdsága. Az epoxigyanták hátránya viszont a térhálósodás közben képződő hő, az erős felmelegedés, ami beégést vagy hőtágulást okozhat, és ugyancsak gyengíti a rotort. Ezért térhálósodás közben a rendszert hűteni kell, ami költségnövekedéssel jár.

A PUR az infúziós technikában új anyagnak számít. Az erre a célra kifejlesztett gyanta viszkozitása a térhálósodás megindulása előtt 50–100 mPas között van, sokkal kisebb, mint az epoxigyanta 200–300 mPas viszkozitása. A könnyebben áramló gyan-tával könnyebb a vázat átítatni, és nagyobb folyási utakat lehet vele elérni. PUR gyan-

tával – hőmérséklettől függően – akár 3 óra alatt is el lehet végezni a váz impregnálását. Térhálósodása közben hő alig szabadul fel. Beégést még 120 mm-es vastagságban sem észleltek. Hűtésre ezért nincs szükség. A PUR gyorsabban is keményedik, mint az epoxigyanta; egy-egy lapát gyártásának ciklusideje mindössze 16–24 óra.

Összeállította: Pál Károlyné

Technologie Verbundwerkstoffe = K-Zeitung, 2014. 04. 25. p. 20.

Carbon Composites e.V. gründet Carbon Composites Ost mit Sitz in Dresden = www.k-zeitung.de 2014. 04. 02.

Composites Europe vor neuer Rekordbeteiligung = www.k-zeitung.de 2014. 05. 27.

Vink, D.: Composites take a Leap = European Plastics News, 41. k. 5. sz. 2014. p. 24–25.

Komfortabler fliegen mit CFK = K-Zeitung, 2014. 8. sz. p. 20.

McGeorge, D.; Høining, B.; Norhammar, H.: Lightweight composite sandwich RoPax superstructure = Papanikolaou, A: Risk-based ship design, 6.1 fejezet, p. 304. www.books.google.hu

Hellbratt, S.-E.: RoPax & Naval vessels composite experiences = www.e-lass.eu

Bewährt in der kommerziellen Windenergieerzeugung = K-Zeitung 2014. 8. sz. p. 32.