

Kompozitok az utakon, a síneken, a levegőben, a vizeken és sok más érdekes helyen

A kompozitok a járműgyártáson és az építőiparon kívül egyre gyakrabban jelennek meg más iparágakban is. Néhány igen szellemes és meglepő ötlet is akad az új alkalmazások között. Ezek közül mutatunk be néhányat.

Tárgyszavak: kompozitok; járműgyártás; infrastruktúra; építőipar; kábelipar; egészségügy.

Kompozitokat (ez a gyűjtőneve a más anyagokkal – erősítést szolgáló üveg-, szén- vagy más szálakkal, ill. szövetekkel vagy töltőanyagokkal – társított műanyagoknak) már hosszú idő óta alkalmaznak az autógyártásban, a légi közlekedés és az űrhajózás eszközeiben, továbbá a sporteszközökben. Használatuk azonban egyre inkább terjed más területeken is, az infrastruktúrában, az építőiparban, az energiaátvitelben, az egészségügyben. A kompozitból készített eszközök ugyanis könnyebbek és olcsóbbak, mint a fémből gyártottak, nem rozsdásodnak és nem rothadnak, hosszabb az élettartamuk, és a formaadásnak szinte nincsenek korlátai.

A Párizsban évente megrendezett *JEC Europe a kompozitok legnagyobb kiállítás a világon*, ahol a cégek nemcsak legújabb termékeiket mutatják be, hanem a kiállítás keretében megtartott konferencián JEC innovációs díjjal (JEC Innovation Awards) ki is tüntetik a legjobb új termékeket, alkalmazásokat és technológiákat. A 2014. március 11–13. között megtartott konferencián is több díjat kaptak a járműveket és szállítóeszközöket gyártók, az építőipari cégek és a megújuló energia hasznosításával foglalkozó vállalatok. Ezek közül a járműgyártásban kifejlesztett néhány újdonságot mutatunk be.

Észak-Amerikában is rohamosan növekszik a kompozitok alkalmazása, és ezeknek a társított anyagoknak a számára a hagyományos alkalmazási területeken kívül is születnek újszerű, szellemes megoldások.

Kitüntetett kompozitok a járműgyártásban

A közúti járműgyártásban a Porsche cég szupersportkocsija, a 650 ezer EUR-ba kerülő hibrid (benzin vagy elektromos áram) hajtású Porsche 918 (1. ábra) a díjat a karosszéria több részről felépülő alsó részének aerodinamikus kialakítása miatt kapta. A teherhordó szerkezet teljes egészében szénszállal erősített műanyagból készült. Az elülső elemet szénszálas SMC-ből (gyantával átítatott szénszálpaplanból) fröccsajto-

lással készítik. A középső elem egyirányú szénszálakat (esetleg balsafát vagy üvegszálakat) tartalmazó prepregből (gyantával átítatott szövedékből) sajtolással készül, az elem váza acélöntvény. A két hátulsó elem anyaga szélszálal prepreg, ennek az elemnek a magja a Rohacell cég *Evonik* márkanevű szerkezeti habja. Az elemeket autoklávban gyártják.



1. ábra A Porsche 918



2. ábra Az ApAteCh vasúti tartálykocsija

A vasúti járműgyártásban az orosz ApAteCh, a holland Lightweight Structures és az orosz Uralvagonzavod ömlesztett áru szállítására alkalmas kompozit szerkezetű vasúti tehervagonok fejlesztését és gyártását célzó szerződést kötött. Az önhordó szerkezetű, belső bordázattal erősített tartálykocsik (2. ábra) az acélból gyártottakhoz hasonlítva 30–40%-kal könnyebbek, hasznos belső térfogatuk 20%-kal nagyobb, élettartamuk 23 év helyett 32 év. Oroszországban és a FÁK országokban mintegy 32 ezer ömlesztett anyagot szállító tehervagon közlekedik, ezek folyamatos cseréjére évente 1500 kompozitból készített tartálykocsi gyártását irányozták elő.

A repülőgépgyártás hosszú idő óta alkalmaz kompozitokat, és ma is élen jár ezek fejlesztésében, mert ebben az iparágban különösen fontos, hogy a szerkezetek minél könnyebbek legyenek. A francia Hutchinson céget (az Airbus partnerét) a repülőgépek pilótafülkéjébe építhető, szénszállal erősített műanyagokból készített modulokért jutalmazták. Ezek kielégítik a polgári repülőgépekre vonatkozó ATA 25-ös szabvány követelményeit. A kompozitból gyártott modulok jóval könnyebbek, mint a fémből gyártottak, és míg az utóbbiakat sok kis alkatrészből kell összeszerelni, az előbbieket egyetlen munkaműveletben lehet előállítani. Emiatt az új modulok olcsóbbak, és formakialakításuk is nagyobb szabadságot ad a tervezőknek. A jövőben ilyen modulokat építenek be az A320 típusú repülőgépekbe, amelyek műszerfala ezáltal nagyobb és könnyebben áttekinthető lesz.

A svájci University of Applied Sciences az egyesült királyságbeli Rolls-Royce-szal és az ausztráliai FACC-vel együttműködve készített el a gázturbinás sugárhajtóművekhez egy alkatrészt (annulus filler) szállal erősített műanyagból transzferöntéses (RTM) technológiával. Ez az alkatrész a motor lapátjai közötti részbe építve biztosítja az optimális aerodinamikai profilt. Az technológia része a szállal erősítőanyag automatikus méretre vágása és célszerszámban végzett előformázása. A díjazott alkatrész elő-

nye a fémből gyártottéhoz képest kisebb tömeg, amely üzemanyag-megtakarítást és kevesebb CO₂-kibocsátást eredményez, emellett termelékenyebben és olcsóbban lehet előállítani.

A repülőgépek utasterébe szánt *Titanium Seat*-nek elnevezett ülésekért kapott JEC innovációs díjat az Expliseat of France, amelyek kifejlesztésében a RocTool, a Hexel of France, a hollandiai Tencate és az A&P Technology (USA) is részt vett. *Egy-egy ülés tömege mindössze 4 kg, a háromrészes ülés soré 12 kg, amit a titánnal kombinált kompozitszerkezettel értek el.* Ez az első olyan kompozitból gyártott ülés, amely kiállta a légi járművek 16 G-s ütközési próbáját. Ilyen üléseket építenek be a jövőben az *Airbus A320* és a *Boeing 737* típusú utasszállító repülőgépekbe. Alkalmazásukkal egy-egy repülőgép üzemanyagköltsége évente mintegy 300–500 ezer USD-vel csökkenthető.

Vízi járművek gyártásában a svájci North Thin Ply Technology cég szabadalmaztatott prepreg-fejlesztési programját tüntették ki, amelynek megvalósításában számos svájci vállalat és intézmény (a Huntsman, a Decision, a Hydros, a Lausanne Federal Poytechnik, az University of Applied Sciences), továbbá a francia Multiplast és a Groupama is részt vett. A szabadalom kiterjed az eljárásra, illetve termékre, amely a világ legvékonyabb egyirányú szálakkal erősített, szalag formájú prepreg (UD prepreg) kompozitja. Szabadalom védi a prepreg feldolgozási módját, a szükséges műszaki ismereteket, a gépeket és a szerszámokat is. Az eljárásban alkalmazhatók szén-, üveg-, kvarc- vagy üvegszálak, amelyeket speciális epoxi vagy cianátészter típusú gyantákkal impregnálnak. A termékgyártáskor a vékony prepregből automatikus berendezés fekteti egymásra az egyes rétegeket úgy, hogy az egyes rétegek egyirányú szálerősítése egymás fölé tetszőleges szögben felhordva megteremtse az előforma optimális erősítését. A berendezés 0-360° között bármilyen szögben képes a prepreget lefektetni. Az UD-prepreget a cég versenyhajók (3. ábra), Forma 1 autók, drónok, sporteszközök, luxusórák gyártásához ajánlja.



3. ábra A North Thin Ply szénszálas UD-prepregjéből épített versenyhajók

Új területek a kompozitok számára Észak-Amerikában

Infrastruktúra: hidak gyors pótlása vagy felújítása

Hirtelen bekövetkező időjárás-változások, természeti katasztrófák, elmulasztott karbantartás vagy más okok miatt hidak hirtelen összeomolhatnak vagy életveszélyes-

sé válhatnak. Sürgős felújításuk vagy pótlásuk a legtöbb esetben elengedhetetlen, és a legtöbb esetben kevés erre a pénz. Ezért gyors és olcsó megoldásokra van szükség, és az is fontos, hogy a felújított szerkezet élettartama ne legyen nagyon rövid.

A hidépítés általában nem gyors és nem olcsó munka. A hidak jelentős hányadát előregyártott, illetve a betongyárakból helyszínrre szállított keverékből az építkezési területen öntött elemekből építik fel, ill. a betonkeveréket egyenesen a zsaluzatba szivattyúzzák. Az előregyártott elemek nehezek és drágán szállíthatók. A helyszínen öntött beton a szerkezet formájától, jellegétől függően, hosszú szilárdulást, érlelést követel, ami különösen nedves, hideg időjárás esetében hetekig, esetleg hónapokig elhúzódhat. A szerkezet súlyossága a hidak terhelhetőségét is jelentősen befolyásolhatja. További hátránya a betonnak, hogy hideg hatására a nedvesség eljegesedik, ami repedéseket és felülethibákat okozhat, a kiszórt sótól az acélbetétek korrodálódnak, illetve víz szivárog a betonba. Ezeket a hibákat csak költséges karbantartási és üzemeltetési eljárásokkal lehet megelőzni. A hidakon ez a megbízhatóságot veszélyezteti.

Az USA Maine államának egyetemén (University of Maine, Orono), a szerkezeti és kompozitcentrumban egy kompozitok alkalmazásán alapuló technológiát fejlesztettek ki, amelyet az ugyancsak oronói Advanced Infrastructure Technologies forgalmaz és alkalmaz a gyakorlatban. Az eljárással közúti és vasúti hidak, alul- és felüljárók építhetők fel rövid idő alatt. Olyan megoldást kerestek, amelyek kiválthatják az erősítő acélszerkezeteket és a betont befogadó formákat (ill. zsaluzást), továbbá lehetővé teszi az épület vagy a hídelemek helyszíni gyártását.

Az eljárás lényege, hogy gyantával átítatott textiltömlőket portlandcementtel töltenek meg, amelyekből mintegy „felfújható boltívet” készítenek, amely a cement megkötése után külső vázat ad az építménynek.

A kutatók számos lehetőség mérlegelését követően döntöttek a felfújható tömlők mellett, amelyek anyagként üveg-, szén- és egyéb szálak keverékét epoxi-vinilészterrel impregnálták, és ponyvaszerű textilt készítettek belőle, amely tökéletesen összeépül a cementtel. A tömlőket a célnak megfelelő méretekben darabolják, ívben meghajlítják és a beépítési formának megfelelő tartószerkezetre helyezik. Lezárásukat követően levegővel felfújják, impregnálják, majd szobahőmérsékleten, normál atmoszférában térhálósítják őket. Az építési területre szállítás után az íveket pozícionálják, lábukat betonral öntik ki. Az ív felső pontján lyukat vágnak, és megfelelő típusú portlandcementtel töltik fel a tömlőket. Az így kialakított boltozatot hagyományos módon befedik, a közöket gyakran homokkal töltik ki, a felületet aszfalttal, illetve polimerbetonnal burkolják (4–5. ábra).

A portlandcementtel töltött felfújható tömlőkből kialakított boltozat megfelel a hidakkal szemben támasztott követelményeknek, és nincs szükség acélvázzal erősített beton alkalmazására. A hagyományos megoldásokkal szemben az új módszerrel végzett szanálás a beruházás költségeit 20%-kal csökkenti, a hidak élettartama 50–70 évvel hosszabbra becsülhető, mivel azok nem fáradsnak ki, nem korrodálódnak, vízszivárgással szemben szigeteltek, üzemeltetésük olcsóbb és kevesebb időt követel. Érzékelők beépítésével a hidak állapota folyamatosan ellenőrizhető. A korábban megköve-

telt, gyakran hónapokig tartó felújításokkal szemben kisebb hidak esetében az új létesítmény akár egy hét alatt is felépíthető.



4. ábra Egy összeomlott híd pótlása a maine-i egyetem technológiájával.
Bal oldali kép: építés közben; jobb oldali kép: a kész híd.



5. ábra A maine-i egyetem technológiájával épített aluljáró egy híd alatt

Építőipar: épületfalak és 3D-s panelek

A Composite Panel System LLC (USA) a panelgyártásban járatos Fiber-Tech Industries Inc. és a gyantát forgalmazó Ashland Performance Materials céggel együtt lakóházak gyors és olcsó felépítésére fejlesztett ki függőlegesen felállítható alapfalakat. Az Epitome márkanévű kompozitfalakat a hagyományos, helyszínen öntött betonfalak helyett kínálják az építetőknek.

A betonnak igen nagy a nyomásállósága, a húzószilárdsága viszont gyenge, ezért gyakran acélbetéttel kell megerősíteni a falakat. A betonfalak talajszint alá nyúló része a talaj folyamatos nyomásának hatására hajlamos a repedezésre, ami utat nyit a nedvességnek. A beton porózus, hőszigetelő képessége gyenge, a nedvesség és a hideg

könnyen áthatol rajta. Ezért előzetes beavatkozás nélkül az épület talajszint alatti helyiségei elvizesednek, lehűlnek, deformálódnak, elpenészesednek.

A kifejlesztett *Epitome* kompozit ugyancsak nyomásálló, de nagy a húzószilárdsága is, ellenáll a nedvességnek és a korróziónak, ezért kiválóan alkalmas épületfalak gyártására. Hőszigetelő képessége alapvetően jó, és műanyaghabok alkalmazásával tovább fokozható. A falak földfelszín alatti része szigetelő hatása révén nem engedi beszivárogni a nedvességet és a hideget, ezért a házak pincehelyiségei szárazak és melegek maradnak.

Az *Epomite* falelemek belső magja üvegszállal erősített műanyaghab, amelyet halogénmentes égésgátlót tartalmazó hőre keményedő akrilátgyantából készítenek. A panelek vastagsága 18 cm, hosszuk 7,4 m, magasságuk 2,8 m, hőellenállásuk (R-értékük) 16,5. A panel hőszigetelését poliuretánhab biztosítja, és tartalmaznak párazáró réteget is. A paneleket egymással pultrúziós technikával gyártott illesztőelemekkel lehet összeépíteni. A panelek összeszerelését csapok és ellenfuratok segítik. Egy épülő ház alapfalai a 6. ábrán láthatók.



6. ábra *Epitome* kompozitfalakból épülő ház

Betonfalak több hétig tartó megszilárdulásával ellentétben az *Epitome* falakat szerelésre készen szállítják. A szabvány méretű paneleket átlagos szerelési gyakorlattal és némi rutinnal rendelkező munkások két óra alatt felállíthatják. Az építetők a kivitelezést könnyen ellenőrizhetik és nincs szükség alvállalkozókra. Az új rendszer megnöveli a vállalkozók termelékenységét és kapacitását.

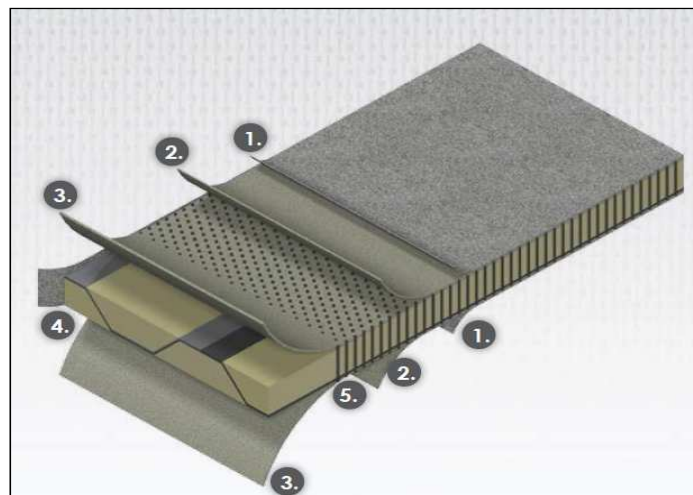
A robusztus szerkezetű falelemek hatszor nagyobb nyomást viselnek el, mint a szokásos homokos feltöltés, és a 7,4 m hosszú panelek 272 tonna lefelé irányuló nyomást bírnak el. Ez azt jelenti, hogy a felépített ház teljes tömege maximálisan 13,25 tonna/m lehet. A fal földbe süllyesztett része körüli üreg bármilyen talajjal feltölthető. Az ilyen alapfalak árban bármilyen betonfallal szemben versenyképesek.

Az építetők előnye a száraz, meleg, energiatakarékos otthon, amelyet a ház teljes élettartama alatt szavatol. A könnyen tisztán tartható falak nehezen égnek (kielégítik az *U.S. National Fire Protection Association 286. „room corner test”* követelményeit), ezért használatbavétel előtt nem kötelező gipsz szigetelőréteg/karton alkalmazása.

Az Epitome épületfalak különösen jól alkalmazhatók a könnyűszerkezetes házakban, ezen belül a felszín alatti terek, pincék kialakítása során is. A korábban elterjedt 31 cm vastag öntött betonfalak helyett az új gyártmány 18 cm-es vastagsága is ösztönzi elterjedését, mert ezzel – átlagosan 9,3 m²-rel, egy kis fürdőszoba alapterületével – tágasabbá válik a pincetér.

A Ebert Composites Corp. (USA, Kalifornia) ugyancsak az építőipar számára fejlesztett ki és szabadalmaztatott kompozitpaneleket, amelyeket licencvásárlás révén a Creative Pultrusions Inc. (USA, Pennsylvania) gyárt és forgalmaz. Ezeknek a *Transonite* márkanévű paneleknek különlegessége a háromirányú (3D-s) erősítés, a panelek *x*, *y* és *z* irányban is tartalmaznak erősítőszálakat. A paneleket folyamatos eljárással gyártják, amely lényegében a szálításos profilhúzáson (pultrúzió) alapszik, de annál jóval bonyolultabb; nem véletlen, hogy az *olcsó és termelékeny technológiát kilenc szabadalom védi*, és a gyártóberendezést is az Ebert cégnél tervezték.

Az I-oszlopként funkcionáló és *z* tengelyt alkotó szálak méretre vágott rovingok (szálkötegek, lehetnek üveg-, szén-, aramid- vagy bazaltszálak), amelyeket a gyártási folyamatban az alsó és felső fedőrétegen át merőlegesen szúrnak át a fedőrétegeken, amelyek között néha van kitöltő anyag (mag), néha pedig nincs. A merőlegesen felállított roving szálai között nincs kötőanyag, de a két fedőréteg oszlopszerűen összetartja őket. A mag lehet szilárd vagy habosított műanyag, ill. balsafa. A két fedőréteget és a száloszlopokat speciális szerszám óvja az összerogyástól, mielőtt sorra kerülne az infúzió vagy az impregnálás, amely összeköti a fedőrétegeket, a száloszlopokat és a magot. Ha ezt elvégezték, a folyamatosan mozgó panel fűtött szakaszon halad át, ahol a betöltött gyanta (telítetlen poliészter, vinilészter vagy poliuretán) térhálósodik. A feltöltéshez alkalmazhatnak hőre lágyuló műanyagot is.



7. ábra Egy *Transonite* panel felépítése 1– 0,25 mm-es PA fátyol, 2 – üvegszál paplan végtelen szálakból, 3 – üvegszál szövet rovingból, 4 – poliizocianurát habmag, 5 – merőleges üvegszál oszlopok

Az eljárás rugalmassága megengedi a panelek változatos felépítését. Vastagságuk 13–102 mm között, a fedőrétegeké 1,27–10,2 mm között változhat; szélességük 15–259 cm, a z tengelyt alkotó szálak sűrűsége 0,08–102/cm² lehet. Mivel a gyártás folyamatos, a panelek bármilyen 2,5 m-nél nagyobb hosszúságra vághatóak. A z tengely többnyire 90°-os, de a legújabb fejlesztés eredményeképpen impregnálás előtt még 45°-ban megdöntött száloszlopokat is beépítenek a szerkezetbe, ami hullám alakú erősítést ad, és ettől a panel rendkívül nagy hajlító- vagy nyíróerőt is képes deformáció nélkül elviselni. Egy ilyen panel látható a 7. ábrán.

Utólagos megmunkálással – vízszaggárral vagy gyémántszerszámmal – sorjátlanítják a paneleket, és ha igény van rá, megfelelő felülettel (tapétával, csúszásgátló anyaggal) látják el.

A *Transtone* paneleket elsősorban padlók fektetéséhez ajánlják, de szabadidős járművek és tehergépkocsik oldalfalaihoz is alkalmazták, Kínában egy kis épületet készítettek belőle. Ballisztikus védőeszközök, légi szállítókonténerek, bútorok, tengeri és vasúti eszközök, hídfelületek számára is hasznosak lehetnek.

Energiaipar: nagyfeszültségű kompozitkábelek

A világ népességének növekedése és a technika fejlődése miatt az áramellátás és az áram eljuttatása a fogyasztókhöz jelenlegi kapacitása határait feszegeti. A kapacitásbővítés lehetséges módjai közül az újabb nagyfeszültségű hálózatok építése rengeteg pénzt és területet igényelne; ha a meglévő hálózatok kapacitását további kábelek kifizetésével akarnák növelni, magasabb és erősebb nagyfeszültségű oszlopokat kellene építeni; harmadik – egyúttal a leggyorsabb és legolcsóbb – megoldás volna az áramot jobb határfokkal szállító kábelek alkalmazása a jelenlegi hálózatokban.

A magasban futó nagyfeszültségű vezetékeknek számos követelményt kell kielégíteniük. Elő van írva a földtől mért minimális távolságuk, a várható jegesedéssel és széllel szembeni ellenállásuk, a megengedett belógásuk, ami a hőmérséklettől és a terheléstől függ. Ha a vezetékeket hegyeken át, vizek fölött, szigorú időjárási zónákban kell kifizíteni, az acéllal erősített hagyományos ACSR kábelek helyett, amelyekben alumínium vezeti az áramot (8. ábra) magasabb hőmérsékletnek ellenálló, kevésbé belógó (HTLS) kábeleket (9. ábra) alkalmaznak. Ha a kábel vezető magja könnyebb és erősebb, nagyobb hőmérséklet határok között is jól működő anyagból készülne, több energiát lehetne rajra szállítani változatlan föld feletti magasságban.

A legutóbbi kutatások szerint ez nem utópia. *Szénszállakkal erősített epoxigyantából készített rudakat próbáltak ki kábelek magjaként* (eltérően a több szálból álló acélmagtól, amellyel az egy ponton képződő hiba miatti áramkiesést akarják elkerülni). A monolit epoximagnak nagyobb a hajlítási sugara, mint a hagyományos szálakból felépített magnak, kezelése ezért nagyobb szakértelmet igényel.

Egy másik kutatócsoport nagy tisztaságú alumíniumfém mátrixba alumínium-oxid szálakat (MMC) ágyazott be. A sokszálas szerkezethez a szokásos szerelvényeket lehetett alkalmazni, de itt is nagyobb hajlítási sugárral kellett számolni, mint az ACSR

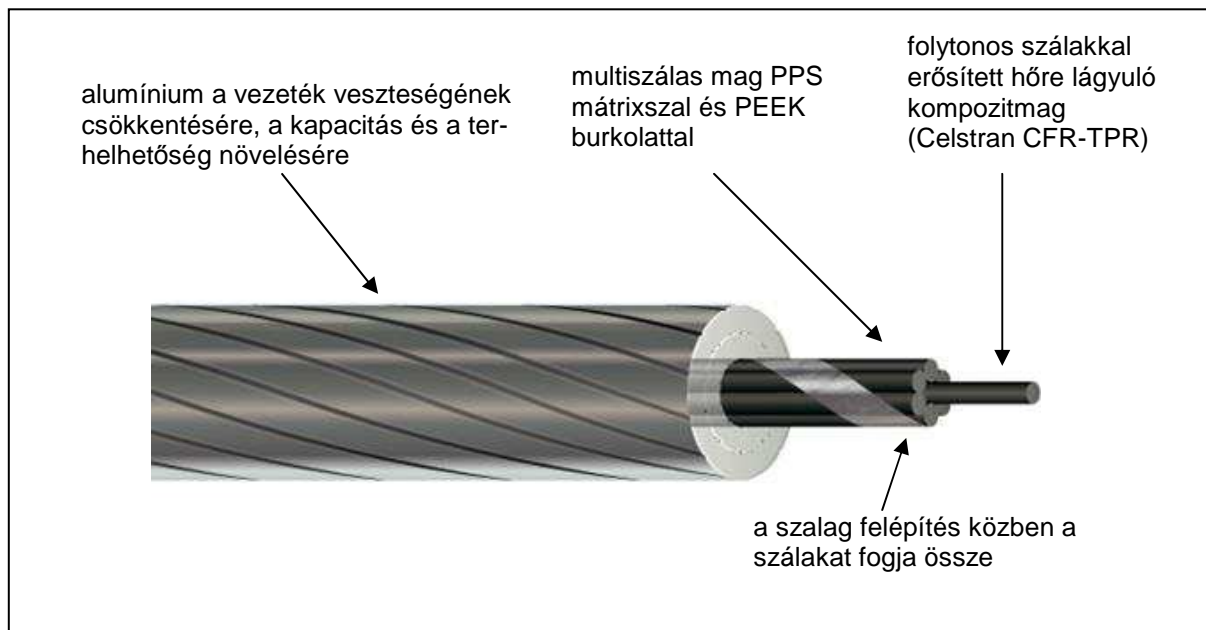
kábeleknél. Ezek 240 °C-ig üzemképesek. Magas árak miatt alkalmazásuk azonban csak nagyon extrém helyeken jöhet szóba.



8. ábra Egy ASCR kábel vezetője, hét acél-szállal és ezeket négy rétegben körülvevő alumíniumszálakkal



9. ábra Egy tipikus HTLS kábel vezetője



10. ábra A C7 Overhead Conductor felépítése

A HTSL típusú kompozit vezetők korlátai miatt a világ egyik legnagyobb kábelgyártója, a Southwire Company, LLC (Georgia, USA) és a Celanese Corp. (Texas, USA) kifejlesztette a HTSL típusú *C7 Overhead Conductor* elnevezésű vezetőt (10.

ábra). A multiszálas pultrudált hőre lágyuló kompozitmagban a szénszállal erősített poli(fenilén-szulfid)-ot (PPS) kombinálták egy poli(éter-éter-keton) (PEEK) fedőréteggel, amely nagy vegyszerállóságot, hőállóságot, galvanikus korrózióval és kopással szembeni ellenállást ad a vezetőknek. Az új vezető kb. kétszer annyi áramot képes szállítani, mint egy átlagos ASCR vezető, és folyamatosan 180 °C-ig üzemeltethető, de rövidebb ideig a 225 °C-t is elviseli. A könnyen szerelhető kábel rugalmasabb és kisebb sugárban hajlítható, mint a monolit hőre keményedő és az MMS kompozit vezető. A C7-es kábel is kompatibilis a szokásos szerelvényekkel, ezért a szerelőket is gyorsabban lehet használatukra betanítani. Ez az új termék egyesíti a nagy teljesítményt a megfelelő szilárdsággal és tartóssággal – élettartamát legalább 40 évre becsülik – emellett nem igényel új infrastrukturális beruházást. Mivel kisebb a vesztesége, növeli az áramszállítás hatásfokát, egyúttal mérsékli annak környezetre gyakorolt hatását.

Összeállította: Pál Károlyné

Snodgrass, J.: Composites on road, rail, air and sea = European Plastics News, 41. k. 9. sz. 2014. p. 32–33.

Porsche 918: még gyorsabb, mint hittük = Totalcar Magazin, www.totalcar.hu

Lightweight Structures B.V. supports your lightweighting innovation! = www.lightweight-structures.com

North Thin Ply UD prepregs – Applications = www.thinplytechnology.com

Reinforced plastics move into non-traditional markets = Plastics Engineering, 71. k. 5. sz. 2015. p. 14–21.

Vermont bridge program uses University of Maine technology to speed repair and save money = www.sunjournal.com

Product brochure. Transonite panel system = www.creativepultrusions.com