

Lehet, hogy a 21. század építészetében a műanyagoké lesz a főszerep?

Megszoktuk, hogy a műanyagok számos alkalmazásban helyettesíthetik a hagyományos anyagokat. Teherhordó elemet hőre lágyuló műanyagból, mégpedig műanyag-hulladékból gyártani, abból pedig hidat építeni azonban meghökkentő ötlet. Pedig azokon a hidakon tankok és mozdonyok is járnak... Bizony a 21. század infrastruktúrája elképzelhetetlen műanyagok nélkül.

Tárgyszavak: műanyag-alkalmazás; infrastruktúra; haditechnika; hídépítés; építőipar; útépítés; csőfelújítás; hullámtörő gát.

Az európai építészet hagyományos anyaga a kő, a fém, a vas, az acél és más nehéz anyagok, továbbá a fa. Újabban azonban növekszik az épületekbe, hidakba és más szerkezetekbe beépített energiahatékony és költségtakarékos műanyagok aránya. Európában a csomagolóipar után az építőipar a műanyagok legnagyobb felhasználója, az összes műanyag 20%-ára tart igényt. Ebből főképpen szigetelőanyagot, ablakkereteket, ajtókat, csöveket, kábeleket, padlóborítást készítenek, *újabbban azonban teherhordó szerkezetekben is megjelennek a polimerek.*

A műanyagok és kompozitjaik vízállóságuk következtében bizonyos esetekben sokkal tartósabbak lehetnek, mint a szokásos építőanyagok, mert nem rozsdásodnak és nem igényelnek rendszeres karbantartást. Emellett erősek, hosszú élettartamúak, továbbá könnyűek, emiatt gazdaságosan szállíthatók és egyszerűen, gyorsan szerelhetők. Újabb épületekben műanyagból készül a vízálló és hőszigetelt homlokzat, az esőcsatorna, a szennyvízcsatorna, a huzatmentes és energiatakarékos ablak, az ajtó, a belső fal, a vízvezeték, a kábelszigetelés és a szellőzőrendszer, a tetőszigetelés és a tetőfedés. *A ma ideálisnak tartott energiatakarékos passzív ház nem volna megvalósítható műanyagok nélkül.* Az építészek arra törekszenek, hogy a műanyagokat ne csak beépítsék a házakba, hanem az építkezés elsődleges alapanyaga.

Eddig a PVC volt a legnagyobb mennyiségben felhasznált műanyag, de az építőipar egyre inkább érdeklődik a nagy sűrűségű polietilén (PE-HD) és a polisztirol (PS) iránt is. Valamennyi műanyagnak megvan a maga célszerű felhasználási területe. Az 1,6 cm vastag műanyaghab hőszigetelése azonos egy 1,3 m vastag betonfaléval. Ha Európában 80 millió műanyag ablakkeretet építenek be, öt nukleáris erőmű áramtermelése válik feleslegessé. A PVC ablakkeretek élettartama 50, a műanyag csöveké 100 év.

Az Európai Unió hetedik keretprogramjában támogatja azoknak a költségtakarékos, rugalmas feldolgozási technológiáknak a fejlesztését, amelyekkel olyan magas értékű, komplex termékeket lehet gyártani műanyag hulladékból, amelyek mechanikai tulajdonságai azonosak vagy jobbak a tiszta műanyagból készültékével, esetleg a fémből vagy fából gyártottakénál.

A műanyagok alkalmazását azonban nemcsak az épületekben szorgalmazzák. Nagyon izgatja a mérnökök fantáziáját a műanyagok lehetséges szerepe a hidépítésben. Üvegszálás hőre keményedő gyantákból már évek óta készítenek kiegészítő híd-elemeket, de az USA most azzal lepte meg a világot, *hogy hőre lágyuló műanyagok hulladékának speciális kompaundálásával készít olyan alapanyagot, amelyből kisebb teherhordó hidak építhetők hagyományos teherhordozó anyagok nélkül.* A műanyagok az útépítésben, a gyalogos forgalom úthálózatában is megjelentek, de bevonultak a tengeri létesítmények anyagai közé, és a mélyépítésben is hasznosak. A következőkben ezekre az új alkalmazásokra mutatunk be példákat.

Épületek, háztetők

Hőkamerás felvételek megmutatják, hogy az épületek rosszul hőszigetelt falain keresztül, a tökéletlenül záró ablakok mellett és a hitvány háztetőkön át mennyi energia megy pocsékba. Ezért megszigorodtak az építési előírások, amelyek betartásában fontos szerepet kapnak a műanyagok.

A falakon keresztül a rajtuk átáramló levegő hozza-viszi a meleget. A légcserre megakadályozására különböző megoldásokat fejlesztettek ki. Vannak pl. olyan szórható emulziók, amelyekkel folytonos zárófilmet visznek fel az épület külső falára, műanyaghabokkal pedig kívülről utólag hőszigetelik a házakat.

A háztetők hőszigetelése mellett a déli országokban az épületek felmelegedését fényvisszaverő tetőkkel csökkentik. Ezt PVC vagy hőre lágyuló poliolefinelasztomer (TPO) tetőfedő fóliával érik el. Az utóbbi fő gyártója a **GAF** (Dallas, Texas, USA), amely 3 m szélességben kínálja az egyrétegű *EverGuard Extreme* fóliát, erre 35 év jótállást vállal. A szokásos TPO fóliák a napsugárzás 75–80%-át verik vissza, az *Extreme* fólia 84%-át. Laboratóriumi vizsgálatok szerint az ilyen fóliával borított tetővel fedett épület hűtése évente négyzetlábként (0,93 m²) 2 USD-centtel kerül kevesebbe. A fólia színe általában fehér, de „hideg” pigmentekkel színeset vagy fémszerű árnyalatot is elő tudnak állítani. A legtöbb ilyen fóliát Kaliforniában, Floridában és Texasban használják fel, de az USA más államaiban is egyre népszerűbb. A kansasi Greenburgban a Kiowa közösségi házat és múzeumot (Kiowa County Common) ilyen tetővel állították helyre egy hurrikán pusztításai után (1. ábra). A cég a nagy kereslet miatt két új üzemben kezdte a fóliát gyártani, az egyiket Texasban, a másikat Indiana államban építették fel.

Olaszországban a települések jellegét a piros tetőcserép határozza meg. Az egyre szaporodó, fekete keretbe foglalt napelemek megtörik ezt az egységes képet. A Bologna melletti **Wegaplast S.P.A** (Toscanella di Dozz) ezért olyan műanyag „cserepeket” kezdett gyártani, amelyek színe és formája megegyezik a valódi cserepekével, és ame-

lyekbe fröccsöntéskor beágyazza a napelemeket. Alapanyaguk a németországi **Styrolution GmbH** (Frankfurt am Main) UV-álló akrilnitril-sztirol-akrilát (ASA) kopolimerje, a *Luran S*, amelyet polikarbonáttal kevertek és ütésállóságát akrilészter elasztomerrel növelték, ezért esőnek, szélnek és más időjárási hatásoknak ellen tudnak állni. A műanyag cserepek új vagy korábbi tetőre ugyanúgy rakhatók fel, mint a kerámiacserepek. Laboratóriumi és szabadtéri vizsgálatok alapján a gyártók arra számítanak, hogy a kerámiacserepek és a műanyag cserepek hosszabb idő alatt óhatatlanul bekövetkező színváltozása nem lesz jelentős. Az első vegyes tetők (2. ábra) tapasztalatai jók. 10 m² felületű (128) *Wegalux* cserép 1 kW áramot tud termelni.



1. ábra A greensburgi (Kansas) Kiowa közösségi ház (Kiowa county common) *Extreme* TPO membránnal felújított tetőszerkezete a tornádó pusztításai után



2. ábra *Wegalux* műanyag cserepekbe ágyazott napelemek egy hagyományos cseréptetőn

Hidak

Az üvegszállal erősített hőre keményedő gyantákból gyártott hídelemek nem ismeretlenek a hídépítők előtt. A spanyolországi **Acciona Infraestructuras** cég (Madrid) a közelmúltban nyert el két ipari díjat; egyiket egy epoxigyanta mátrixból és szén-szálból kialakított gyalogos híd tartóoszlopáért, a másikat a világ leghosszabb feszített szalaghídjáért, amelyen a terhet egyirányú szén-szálakat tartalmazó csavart kábelek tartják.

A franciaországi **ICCO Composites** (La Mailleraye-sur-Seine) egy Loire-menti műszaki egyetemi kampusz területén a francia *DECID2* projekt keretében épít fel egy 20 m hosszú demonstrációs gyalogoshidat, amelynek profiljaiba optikai szálakat és ultrahangos érzékelőket ágyaztak be. Ezek mérik a deformációkat és szerkezeti hibák észlelésekor figyelmeztető jelzést adnak.

Moszkvában egy vasúti felüljárót készítettek multiaxiális kváziizotróp üvegszálaspoliésztergyanta profilokból (3. ábra). A profilokat egy helyi kompozitgyártó, az

ApaTech cég gyártotta. A híd fesztávolsága 33 m, a kompozitelemek össztömege kb. 13,5 t; összehasonlításképpen egy fémszerkezet tömege 38,5 t lenne.



3. ábra Üvegszál-as polieszterelemekből készített vasúti felüljáró Moszkvában

Arra azonban senki nem gondolt volna, hogy hidat hőre lágyuló műanyagból is lehet építeni, pláne ilyen műanyagok hulladékából. A **Rutgers Egyetem** (Rutgers University, New Jersey) sem ezzel kezdte 1980-ban a műanyag hulladék újrafeldolgozását. A környékről összegyűjtötték a használt palackokat és más hulladékokat, majd a palackok nagy sűrűségű polietilén (PE-HD) alapanyagát polisztirollal (PS) és/vagy gépkocsik kiszerelt üvegszál-as polipropilén (FRPP) ütközőinek anyagával kompaundálták. (Ez is fejcsóválásra ösztönző ötlet, hiszen a polietilén és a polisztirol egymással „normális” esetben összeférhetetlen, keverékük mechanikai tulajdonságai rendkívül rosszak.) A keverékekből „deszkákat” (lambériát, RTCL: recycled thermoplastic composite lumber), majd vasúti talpfákat készítettek.

Az új anyag felkeltette a hadsereg érdeklődését. Az első elfordítható közúti hidat egy missouri katonai bázison, *Fort Leonard Wood*-ban 1998-ban építették. A híd 8 m hosszú, teherbírása 30 t. Alsó tartószerkezetét acél I-gerendák alkotják. A híd építési költségei meghaladták egy hagyományos szerkezetből épített híd költségeit, de a karbantartási költségek elmaradása miatt a teljes élettartamra számított költségek csekélyebbek, ezért építését gazdaságosnak ítélték. A hidat a hadsereg használja és a katonaság fedezte a beruházás költségeit. A híd nyolcéves használat után ugyanúgy nézett ki és ugyanúgy funkcionált, mint újkorában.

Ezt a hidat továbbiak követték. 2002-ben *Wharton State Forest*-ben (N. J.) ugyancsak közúti hidat építettek, ennek már az I-gerendái is RTCL kompozitból készültek, az eredeti faoszlopokat azonban megtartották. A híd 17 m hosszú, tömege 13,6 t, terhelhetősége 36 t. Az észak-carolinai *Fort Braggben* 2009-ben közúti, a virgi-

nai *Fort Eustisban* 2010-ben két vasúti hidat létesítettek (4. ábra). Az utóbbiak FRPP/PE-HD-ből készített elemei szakítószilárdságának vizsgálatakor a megkívánt minimális 4,1 MPa helyett 31 MPa-t mértek. A számítások szerint a híd elemeiben 4,1 MPa alatti terhelés mellett 25 év alatt semmiféle kúszás nem várható, azaz ha egy 73 tonnás *M1 Abrams* tank 25 évig parkolna a hídon, azon semmiféle deformációt nem tudnának kimutatni.



4. ábra A FRPP/HD-PE kompaundból felépített egyik vasúti híd Eustisben



5. ábra A Skóciában hőre lágyuló műanyagok hulladékából gyártott elemekből 4 nap alatt összeszerelt híd építés közben

Új lendületet adott a hőre lágyuló műanyagok hulladékából készített hidak létesítésének az **Axion International, Inc.** (New Providence, New Jersey, USA) cég bekapcsolódása az üzletágba. Az Axion cég bevezette az előregyártott elemek gyártását. Ilyenekből készültek az eustisi hidak is. A technológia korszerűsítése után az USA-ban több híd építettek, és elkészült az első európai híd is.

Skóciában 2011-ben az Axion cég hajón és gépkocsin odaszállított előregyártott elemeiből Edinburgh közelében a Tweed folyó felett cseréltek ki egy 4 m széles, 30 m hosszú, acélból és fából épített előregedett három nyílású közúti hidat. A 100%-ban műanyag hulladékból előállított elemek összeszerelése (5. ábra) négy napig, a híd teljes felépítése kevesebb, mint két hétig tartott; a hosszabb időtartam a hagyományos anyagok beépítéséhez kellett.

Valamennyi híd felépítésekor újabb tapasztalatokat szereztek, amelyeket a következő híd szerelésekor már fel tudtak használni. Mivel a legtöbb új híd katonai járművek is használják, fontos, hogy a hadsereg elégedett velük, és az új anyagot más célokra is fel kívánja használni. A hídépítőknek számos új megrendelésük van, és a következő öt évben két számjegyű növekedésre számítanak.

De hogyan sikerült az összeférhetetlen polietilénből és polisztirolból vagy üveg-szálalás polipropilénből hídépítésre használható, nagy szilárdságú kompaundot gyártani, amelyért 2011-ben a Rutgers Center és az Axion cég megosztva *K+F 100 díjat (R&D 100 Award)* kapott, és amelyet a szakma az innováció Oscar-díjának tekint?

A munka kezdetén a lakosságtól begyűjtött műanyag hulladék 80%-a PE-HD volt, amelynek a modulusa túl alacsony szerkezeti elemek gyártásához. A modulus növeléséhez és a kúszás csökkentéséhez alkalmasnak látszott a gépkocsikból kisserelt lökhárító anyaga, a 30 vagy 40% üvegszálat tartalmazó polipropilén. Ezt a hulladékot megőrölve hozzákeverik a polietilénhez, ezáltal eléri a kívánt modulus és a csekély kúszást. Magát a kompaundálást a **Randcastle** cég (New Jersey) speciális egycsigás keverőextruderében végzik, amelynek *keverőhatása nyolcszor jobb, mint egy kétcsigás extruderé*. Ennek eredményeképpen a kompaund egy 3D-s összerakós játékra (puzzle-ra) hasonlít. Olyan, mint egy szövet, amely szálakból áll, közöttük levegő van. Ha a levegő helyére egyéb szálakat visznek be, az eredeti és az új szálak között akkor is erős kötés alakulhat ki, ha nincsen köztük kötőanyag vagy kémiai kötés. A kötés ereje a szálak finomságától függ. Az Axion cég hídelemeihez felhasznált kompaund a *Struxure* márkanévet viseli.

A hidak óriási teherbírásához az is hozzájárul, hogy a 2002-ben felépített Wharton State Forest-i híd óta a hídszerkezeteket egymással összekötött I-gerendákból alakítják ki. Ezek sokkal merevebbek, mint a négyzet keresztmetszetű gerendák, és jobban ellenállnak a hajlításnak, emellett lényegesen kevesebb anyag szükséges hozzájuk, és sokkal könnyebbek. Ezért került a Fort Bragg-i híd felületegységre számítva 32,9%-kal kevesebbe, mint egy fahíd, és 54,8 %-kal kevesebbe, mint egy acélból és betonból épített híd.

Az eddig épített hidak jórészt a hadsereg megrendelése alapján készültek el, az Axion cég azonban a települési önkormányzatokat és az egyéb hivatalokat is igyekszik megismertetni termékei előnyeivel. A cég arról is gondoskodik, hogy a szerelésekhez megfelelő gyakorlattal rendelkező szakembereket képezzen ki. Egy tanműhelyt az USA környezetvédelmi hivatala, az **EPA** létesített erre a célra.

Talpfák, sétányok, útburkolatok

Fából készített vasúti talpfák helyettesítésére az Axion cég *Ecotrax* márkanévű kompaundjából készített talpfákat forgalmaz. Az 1990 óta gyártott talpfák sikert arattak, az USA-ban eddig kb. 1,5 millió darabot építettek be belőlük.

Az Axion parkokban vagy vizek fölött épített sétányokhoz RTCL-ből gyártott „deszkákat” is kínál. Az ötlet akkor született, amikor a cég vezetője meglátta New Jersey-ben a tengerparti sétány Sandy hurrikán utáni romjait. Ugyanezekből az elemekből válaszfal is építhető.

Az útburkolatként használt aszfalt kb. 94% ún. aggregátot (homokot, zúzott követ) és 6% bitumen kötőanyagot tartalmaz. Már léteznek olyan műanyagok, amelyekkel a bitumen helyettesíthető. A **DirtGlue Enterprises (DGE, Amesbury, Massachusetts, USA)** erre a célra egy *akrilésztert használ, amely kötőanyagként versenytársa lehet a bitumennek*. A DGE a hadsereg által is használt hidak erős elszennyződését szeretné megakadályozni a környező földutak stabilizálásával. Betonutak építése túl költséges volna, az olcsóbban kiépíthető aszfaltutaknak a karbantartása drága. A DGE ezért polimerkötésű zúzalék leterítésével próbálkozik. Az ilyen útfelület a

betonhoz hasonlóan kemény, de az aszfaltnál rugalmasabb. Ilyen útburkolat a fejlődő országokban is alkalmazható lehet, ahol nehéz hozzáférni az aszfalthoz. A cég szeretné engedélyeztetni az eljárást az USA államaiban. Egy virginiai útszakaszt 2012-ben kezelték a gyantás zúzalékkal, hogy megfigyeljék, hogyan tűri a téli időjárást, a sózást, a homokkal szórást és a forgalom terhelését. A cég tervezi további különböző útszakaszok (mellékutak, városi és falusi utak) felületbevonását is. Bízunk a sikerben, mert a polimer vízálló, UV-álló, felhasználóbarát. A cég saját parkolóját is bevonta az anyaggal. Ezt hét év óta évenként tucatnyiszor sózták, homokkal szórták, „felszántották”, de ma is ugyanúgy néz ki, mint amikor lefektették. A bevonóanyagot és a fektetési technológiát az elmúlt évek alatt tovább javították.

Műanyagok a föld alatt és a tengervízben

Műanyagok a föld alatt nem szokatlanok, földbe süllyesztett és előregedett acél csővezetékeket pl. gyakran újítanak fel valamivel kisebb átmérőjű PE-HD cső behúzásával. 2011-ben Harrisburg (Pennsylvania, USA) központjában a bevásárlóközpont parkolója közelében egy árok nélkül fektetett 250 m hosszú, 1 m átmérőjű csapadékvíz-elvezető csatorna kezdett összelapulni. A mérnökök a csatorna végén kis gödröket ástak, és egy 80 cm átmérőjű PE-HD csövet húztak be a sérült szakaszba.

2013. április 9–11. között Düsseldorfban az **Applied Market Information (AMI)** az infrastruktúrában alkalmazott csövekről rendezett konferenciát (Pipes in Infrastructure). Itt legalább két tucat előadás hangzott el. Elmondták, hogy a műanyagból és a hagyományos anyagokból készített csövek között még ma is fennáll a verseny. *Műanyagból inkább kisebb, fémből, betonból, agyagból inkább nagyobb átmérőjű csöveket készítenek.* Ismertettek egy új PP csőanyagot, amelyet nyomásmentes szennyvízcsatornákhöz kínálnak. Mások műanyag hulladékból gyártott csöveket ajánlottak ugyanerre a célra.

Tengeri létesítményekhez is alkalmasak lehetnek a műanyagok. A **GulfSynthetics** (Cumming, Georgia, USA) és **Bayer MaterialScience** (Leverkusen, Németország) közösen szintetikus hullámtörő gátak fejlesztésén dolgozik. Az első műanyag hullámtörőket az 1990-es évek elején PVC-ből építették, a 2000-es évek kezdetén üvegszálak kompozitokat használtak erre a célra. A lakóterületek közelében lévő kis hullámtörők 70%-a ilyen anyagokból készült.

A Gulf és a Bayer hároméves munkájának eredménye a *PURLoc* rendszer. Elemeit pultrúzióval (gyantaimpregnálásos szálhúzással) üvegszálból és a Bayer erre a célra kifejlesztett *Baydur PUL 2500* márkanevű poliuretánrendszeréből készítik. Az üvegszálak PUR elemeknek nagy nyírószilárdsága és ütésállósága van, emellett elég jól nyúlnak ahhoz, hogy hirtelen erő hatására ne sérüljenek meg. A védőfalat képező *PURLoc* oszlopok 30%-kal erősebbek az eddig használt oszlopoknál, de gyártási költségük nem magasabb. A belőlük készített hullámtörők élettartama a PVC hullámtörők 15 éves élettartamával szemben legalább 50 év. A PVC hullámtörők rugalmassági modulusa 2620 MPa, az acélfalaké 145 000 MPa, a használatban lévő üvegszálak szerke-

zeteké 17 000–20 000 MPa, a *PURLoc* rendszeren mért eddigi legmagasabb modulus 47 000 MPa.

A *PURLoc* hullámtörő ugyanolyan módon, ugyanazokkal az eszközökkel építhető fel, mint a hagyományos rendszerek. Hogy a kialakult ökörendszert ne zavarják meg, az új hullámtörőt egyszerűen a régi elé kell építeni.



6. ábra *PURLoc* hullámtörő gát építés közben

A Gulf cég a legtöbb megrendelést Dél-Afrikából és Európából kapja, de a Sandy hurrikán után két és fél mérföldes (4 km-es) hullámtörő gátat épített a New York-i Long Island partján a sérült PVC fal helyett, egy másikat pedig New Jersey-ben (6. ábra). Számos más kisebb létesítményt is fel kell újítania. A nagy kereslet kielégítése érdekében a cég fontolgatja egy új termelőüzem építését.

Összeállította: Pál Károlyné

Deschamps, M.J.: Composite bridges start to appear across Europe = European Plastics News, 39. k. 6. sz.2012. p. 26–27.

Giordano. G.: Innovating 21st-century infrastructure...with plastics = Plastics Engineering, 69. k. 6. sz. 2013. p. 5–12.

Lynch, J.K.: Bumpers to bridges = ceNEWS, www. cenews.com

Eldridge, D.: Harmony for PV cells up on the roof = European Plastics News, 40. 6. sz. 2013. p. 16.