Szálerősítésű rendszerek a házépítésben és az állagmegóvásban

Tárgyszavak: építőipar; szálerősítésű műanyag; karbantartás; állagmegőrzés; földrengésvédelem; téglafal; megerősítés; klímaberendezés; csőrendszer.

A szállal erősített gyantákat régóta használja az építőipar pl. hullámlemezként tetőfedéshez. Újabb alkalmazásuk a történelmi épületek megerősítése, földrengésbiztossá tétele. Az erre irányuló munka mellett bemutatunk egy száltekercseléssel készített csőrendszert, amelynek el kell viselnie, hogy időnként elönti a tengervíz.

Az erősített műanyagok szerepe a régi történelmi épületek állagának megőrzésében

A könnyű műanyagkompozitokat, különösen *a szénszál-erősítésű műanyagokat* (carbon fibre reinforced plastics, röviden CFRP) *egyre inkább alkalmazzák a történelmi épületek, szobrok, műemlékek és egyéb középítmények, pl. hidak állagának megóvására*, különösen Európában.

A műemlékek, szobrok, történelmi épületek és más építmények az idő múlásával tönkremennek vagy súlyos, katasztrofális sérüléseket szenvednek egy-egy földrengés alkalmával. Az assisi Szent Ferenc bazilika boltozata például két helyen is beomlott 1997. szeptember 26-án. Korának két leghíresebb olasz művésze, Cimabue (1240–302) és Giotto (1267–1337) freskóinak több mint 180 m^2-es felülete tört 50 000-nél is több darabra.

Az épületek öregedésével párhuzamosan gyengülnek a beépített anyagok, és szerkezetük egyre érzékenyebbé válik a földrengésekkel, a forgalom és az építkezések okozta rezgésekkel, továbbá az egyéb károsító hatásokkal szemben, amelyek mindennaposak a mai városokban. Ez az oka annak, hogy *a történelmi épületek manapság sokkal erősebben sérülnek meg enyhébb földrengések alkalmával is, mint az elmúlt századok folyamán. Előfordul, hogy a szeizmikus, rezgésekkel szembeni ellenálló képességet csökkentik a korábban elvégzett hibás restaurálási, felújítási kísérletek.*

Az állandó felújítások költségesek, és negatív hatással vannak a turizmusra és a közlekedésre. A hagyományos felújítási eljárások, mint például a

fa vagy vas támasztógerendák, a falat megerősítő vasak és állványok használata jelentősen megváltoztathatja az épületek homlokzatát. Ezek a megoldások gyakran nem elég tartósak, és hosszú távon nem óvják meg az épületek állagát. A megerősítő munkálatokat legtöbbször csak egy katasztrófa után végzik el, amikor már károsodott az épület. Ezzel szemben a megelőző beavatkozások sokkal olcsóbb és hatásosabb védelmet nyújtanának.

A COMREHAB program

Az **Európai Unió** *EUREKA programcsomag*ját a piacorientált kutatásfejlesztési programok számára dolgozták ki, és a következő célok támogatását szolgálja:

- az európai versenyképesség növelése,
- az innovációs folyamatok elősegítése piacorientált együttműködési szerződések révén,
- vállalatok, kutatóintézetek és egyetemek bevonása az együttműködésbe Európa különböző részeiből,
- innovatív termékek, folyamatok és szolgáltatások fejlesztésének elősegítése.

A *COMREHAB* is egyike az EUREKA programcsomagjainak. A *program célja a történelmi építmények szeizmikus rezgésekkel szembeni ellenálló képességének növelése kompozitokon alapuló technológiával*. A COMREHAB program nagy-britanniai, spanyolországi, portugáliai és szlovéniai résztvevői kifejlesztettek egy új eljárást a kő-, fa- és betonszerkezetek erősítésére, amelyhez epoxi- vagy poliésztergyantába ágyazott szénszálakat alkalmaznak. Ezeket a kompozitokat „prepreg”-ként (gyanta kötőanyaggal előre impregnált vázanyagként) viszik fel vékony rétegben a mechanikai igénybevétel szempontjából kritikus helyek – főleg teherhordó falak és oszlopok – erősítésére és merevítésére. Ilyen anyagok sokkal kevesebb elváltozást vagy sérülést okoznak az épületben, mint a jelenleg alkalmazott merevítő acélrácsok.

A gyantával imregnált szálas anyag könnyen kezelhető, jól hozzáalakítható az épület szabálytalan felületeihez, akár 100 m-nél is hosszabb összefüggő tekercsekben kapható, és nem rozsdásodik. *A szénszálas gyantától nem sérül meg az eredeti szerkezet és az eljárás reverzibilis, vagyis ha a későbbiek folyamán felbukkan egy fejlettebb technológia, a korábbi erősítés eltávolítható, és helyettesíthető a hatásosabb erősítéssel.*

A kompozitos eljárás kivitelezhető alacsony hőmérsékleten is az építkezés, felújítás helyszínén üzemeltetett olcsó fűtőberendezések segítségével, amelyekre a gyanta térhálósításához van szükség. Az épületek helyreállítási költségei 15%-al csökkenek a meglévő eljárásokéhoz képest. Mivel a szénszálas gyanta könnyű anyag, elkerülhető a költséges alapmegerősítés, amelyre a hagyományos technológiák alkalmazásakor gyakran szükség van.

A COMREHAB program résztvevői abban bíznak, hogy az egyszerűen felvihető, gazdaságos és jobb teljesítményt nyújtó *erősített műanyagok éves forgalma Európában el fogja érni a 100 M EUR értéket a történelmi építmények és emlékművek felújításában.*

Egy 24 részből álló szerkezeti kísérletsorozat elvégzése során azonban nem volt mindig problémamentes a szénszálas gyanta alkalmazása. Nehézségeket okozhat a kompozit esetleges megcsúszása, a gyanta öregedése és nem túl jó tűzállósága. Le kell győzni az építőipar meglehetősen konzervatív szemléletét is.

Lisszaboni alkalmazás

Portugáliában számos régi, díszes kőépület található, amelyek az évek során elöregedtek, többször is átalakították és bővítették őket. Közülük jó néhány szerkezeti felújításra szorul, különösen a földrengésveszélyes területeken, például Lisszabonban. *A COMREHAB program résztvevői a lisszaboni Baxia Pombalina nevű városrészt választották ki felújítandó referenciaterületként, amelyet az 1755-ös pusztító földrengés után építettek.* Itt régi és új üzletek keverednek egymással, ez adja a hely egyedülálló atmoszféráját.

A felújításhoz nagy szakítószilárdságú szálakkal erősített epoxi- és poliészterbázisú kompozitokat használtak. Ezeknek az anyagoknak a szilárdsága 5–10-szer nagyobb, mint az acélé, tömegük pedig annak csupán egynegyede. A kompozitot laminált erősítőanyagként alkalmazták, amely ellenáll a nyomó és húzó igénybevételnek, és elnyeli a szeizmikus energiát anélkül, hogy a fal összedőlne. Az erősítést két rétegben vitték fel a felületre. A két réteg egyetlen ellenálló membránt vagy rétegelt lemezt alkot attól függően, hogy egymásra vagy a fal egyik és másik oldalára viszik fel. A gyantával átitatott, egyirányú szálakat tartalmazó „prepreg” szélessége 10…100 cm. Általában átlósan helyezték el a falfelületen, és szorosan követték annak egyenetlenségeit, különösen a kövek és téglák közötti hézagoknál, illesztési helyeknél.

Az állagmegóvó eljáráson felül *a szállal erősített gyanta alkalmazásának fő előnye, hogy az épület használatából és a szerkezet öregedéséből adódó repedések, törések ritkábbak, mint a vasbetonban.* Ez fontos tényező, mert a Baxia Pombalina népszerű turistalátványosság és forgalmas bevásárlónegyed, ahol nagy tömegek mozognak. További előny, hogy az üvegszálas gyanta kis súlya miatt csak minimális hatással van a szeizmikus erőkre, és lehetővé teszi az állagmegóvást az alapok megerősítése nélkül.

A delft-i egyetem Építőmérnöki Karán méréseket végeztek, hogy tanulmányozzák a téglafalak megerősítésének hatásait. Sok régi épületnek van egysoros téglafala. Ezeknek a falaknak a külső oldalán nyáron akár 50 °C, belső oldalán mindössze 20 °C lehet. Télen a hőmérséklet-különbség fordított irányú. Emiatt nagy feszültségek ébrednek a falban, különösen a falnyílások, oszlopok, pillérek és a fal más teherviselő részeinek környékén. Ezek a fe-

szültségek töréseket okozhatnak. A vizsgálati eredmények szerint *a fal belső megerősítése szénszálas gyantával képes megállítani a téglafal szétrepedezését.*

Különböző állagmegóvó eljárások társítása

Ha a szállal erősített gyantákat más állagmegóvó eljárásokkal együtt alkalmazzák, még hatékonyabb védelmet lehet elérni. *A szénszálas gyanták hatásfoka pl. erősen megnő földrengés ellen szigetelt épületeken.* A szeizmikus szigetelést az elmúlt 25 év során fejlesztették ki, és mára már érett, jól kidolgozott technológiának számít, amely megbízható és gazdaságos. Lényege, hogy rezgéscsillapító szerkezeti elemet helyeznek az épület és az alapja közé. A világon több száz hídat, épületet, gyárat és atomerőművet építettek ilyen módon. Elsőként 1987-88-ban alkalmazták az eljárást egy történelmi épület felújítása során az USA-ban, Salt Lake City-ben, amely csupán 3 km-re van egy törésvonaltól. A rezgéscsillapító szerkezet gumiból és ólomgumiból készült.

Egy másik eljárásban *az erősített műanyagok mellett alakmemóriával rendelkező ötvözeteket használnak.* Ez egészen új eljárás, csak az utóbbi néhány évben kezdték épületekben alkalmazni. Az alakmemóriával rendelkező ötvözetekkel falakat, tetőket, emeleteket kapcsolnak össze, hogy megakadályozzák az építmények összeomlását. *Ilyen alakmemóriával rendelkező kötőelemeket használtak az assisi Szent Ferenc bazilika felújításánál is.*

Téglafalak konzerválása

Az USA-ban téglafalak védelmére használnak szállal erősített gyantát. Az epoxigyanta befecskendezését a falba, majd kikeményítését, először Lengyelországban alkalmazták az 1970-es években. Ennek a kezelésnek a lényege az, hogy a gyantával átitatott porózus vagy repedésekkel teli kövek, téglák és vakolatok ellenállóvá válnak az időjárással szemben.

A kaliforniai állami egyetem, a **Fresno** kutatói *Bisfoam-3 márkanevű epoxigyantát* (gyártja **Delta Plastics Co.)** *injektálnak a sérült falba*. *A Bisfoam-3 CO_2 keletkezése közben habosodik, majd térhálósodik.* Ezzel az eljárással erősítették meg több városi csarnok és templom falát, ami növeli a fal szívósságát, csillapítását és szilárdságát. *A gyantainjektálás nem befolyásolja a történelmi falak külső megjelenését, így megőrzi azok történelmi értékét.* Az epoxigyanta vízállóbbá teszi a falat, amely sokkal ellenállóbb lesz a környezeti hatásokkal szemben.

Nagyobb felületek műanyaggal végzett javításakor gyakran alkalmaznak a belső erősítéshez dróthálót, szilárd epoxigyanta-darabokat, fémszegecseket, csapokat. Néha kiváló minőségű rozsdamentes acélt használnak az összeerősítéshez, de epoxibevonatú acél-, titán- és polimerkompozitok is megfelelnek a

célnak. Átlátszó terek javításakor fémrudak helyett poli(metil-metakrilát) rudakat építenek be.

Ha hiányos részeket kell kitölteni műanyaggal, a polimerbe (amely lehet hőre lágyuló vagy hőre keményedő) töltőanyagot, megfelelő színezéket és speciális adalékokat kevernek. A töltőanyag lehet üveggyöngy, ásványi őrlemény, gipsz, cement gyantatörmelék stb. Különféle adalékok lassíthatják a gyanták autooxidációs folyamatainak végbemenetelét.

A Vipel kielégíti a tengerparti házak igényeit

Egy igényes ház építése a dél-kaliforniai tengerparton nagy kihívást jelent az építész számára, mert meg kell felelnie azoknak az esztétikai és gyakorlati követelményeknek, amelyeket építészeti előírások támasztanak, de be kell illeszkednie az adott környezetbe is.

Egy ilyen *épület klímaberendezéseihez tartozó, fáradt levegőt szállító csőrendszer fő- és gyűjtőágait az épület szintje alá helyezték, hogy látványuk ne zavarjon senkit. A földbe süllyesztett gödör néha víz alá kerül, mert vihar vagy szokatlanul magas dagály mellett a házig feljön a tengervíz. A csőrendszer üvegszálas gyantából készült.*

A csőrendszert üvegszálas vinilésztergyantából (*Vipel KO22-AAA*) tekercseléssel készítették el. A gyártó (**RAM Fiberglass Inc.**, Kalifornia, USA) a 7,5 cm átmérőjű fővezetékből 37 m-t, a 3,5–6 cm átmérőjű gyűjtővezetékből 170 m-t gyártott. A csövek ellenállnak a tengervíz korrodáló hatásának, kevéssé égnek (ASTM E 84 szabvány szerint 1. oszályúak) és hogy a külső víznyomást is elviseljék, a szokásosnál vastagabb falúak. A csöveket 50 rozsdamentes acélhoroggal rögzítették a talajhoz.

Kovács Levente

Borchardt, J. K.: Reinforced plastics help preserve historic buildings. = Reinforced Plastics, 47. k. 11. sz. 2003. dec. p. 30–32.

Vipel meets demands of coastal housing. = Reinforced Plastics, 47. k. 11. sz. 2003. dec. p. 6.