

PREGLED TRENUTNOG STANJA PRIMJENE KOMPOZITNE ARMATURE U SANACIJI KONSTRUKCIJA

Nataša Kopitović Vuković, Nebojša Đuranović

Građevinski fakultet Univerziteta Crne Gore, Cetinjski put bb, Podgorica, nataly@ac.me

REZIME

Ovaj rad ustvari predstavlja pregled sadašnje i buduće upotrebe FRP kompozitnih materijala u građevinskoj infrastrukturi, nastao kao osvrt na značajni porast njihove primjene u posljednje tri-četiri decenije. U radu su navedene vrste konstrukcija koje su nastale od FRP kompozitnih materijala, kao i najpovoljniji način korišćenja kompozita u građevinarstvu. U zaključku rada se objašnjava ključ uspjeha naprednih kompozitnih polimjera u građevinskoj infrastrukturi i predlažu se područja u kojima se, ukoliko su upotrijebljeni na inovativan način, mogu ubuduće koristiti s velikom prednosti.

KLJUČNE RIJEČI: FRP, sanacija, građevinska infrastruktura, hibridne konstrukcije, inovacije

A SURVEY ON THE CURRENT USAGE OF FRP COMPOSITES IN REHABILITATION OF CONSTRUCTIONS

ABSTRACT

This paper is actually a review of present and future utilisation of FRP composite materials in civil infrastructure, due to the rapid growth of their application over the past three to four decades. Various types of structures, which have been developed from the FRP composite materials, were demonstrated in the paper, and also the most beneficial way to utilize composites in civil engineering. The paper concludes by summarising key successes of the advanced polymer composite in the civil infrastructure and suggests areas in which, if they are employed innovatively, FRP composites could be used with great advantage.

KEYWORDS: FRP, rehabilitation, civil infrastructure, hybrid structures, innovations

UVOD

Prije rasprave o postojećim i budućim kompozitnim konstrukcijskim sistemima u građevinarstvu, važno je poznavati karakteristike materijala koje ga čine atraktivnim u nekim oblastima gradnje, kao i druge karakteristike koje se moraju poboljšati, u cilju postizanja potpunog povjerenja u materijal.

FRP se zbog svojih prednosti (male težine, lakoće ugradnje, niskog održavanja, otpornosti na koroziju, visokog koeficijenta konstrukcione povoljnosti i niske cijene u odnosu na vijek trajanja) široko koriste u građevinarstvu, automobilskoj industriji i procesu modeliranja.

Objekti građevinske infrastrukture imaju uobičajeni životni vijek oko 100 godina. Neizbježno je da će se vremenom od konstrukcija očekivati da ispune zahtjeve koji prvobitno nijesu postojali, a koji su nastali prvenstveno usljed povećanja pokretnog i nepokretnog opterećenja i propadanja upotrijebljenog materijala. Savremeni vid projektovanja, praćen zahtjevima nove, moderne tehnike je takođe unio izmjene u sadašnje propise.

Pokazaćemo kako jedinstvene karakteristike FRP kompozita mogu biti iskorišćene na više načina:

- u cilju formiranja konstrukcija izrađenih samo od FRP kompozita;
- u kombinaciji s drugim inženjerskim materijalima za poboljšanje krutosti, čvrstoće i trajnosti samog kompozita i
- za stvaranje budućih generacija FRP građevinskih elemenata.

PRIMJENA FRP KOMPOZITNIH MATERIJALA

Hibridni konstruktivni sistem, sastavljen od optimalno kombinovanih FRP kompozita i tradicionalnih materijala kao što su beton i / ili čelik, su trenutno glavna tema interesovanja, sa stanovišta upotrebe kompozitnih materijala u izgradnji novih konstrukcija.

Navedene kombinacije mogu obrazovati razne strukturne forme, kao što su:

1. Kolovozna ploča i gornji stroj mosta izrađeni od FRP kompozita;
2. Sanacija AB greda spoljašnjim ojačanjem pločama i direktnom montažom FRP šipki na spoljnu površinu elementa;
3. Sanacija čeličnih greda spoljašnjim ojačanjem pločama;
4. Sanacija AB stubova korišćenjem FRP kompozita;
5. Armiranje betonskih greda i ploča korišćenjem FRP šipki.

Strukturna analiza i projektovanje ovih sistema u načelu ne predstavlja problem, dok odgovarajućim ispitivanjem, konstrukcijom i izradom, FRP kompoziti mogu produžiti životni vijek i značajno smanjiti troškove održavanja u odnosu na odgovarajuću konstrukciju od tradicionalnih materijala.

1. Kolovozna ploča i gornji stroj mosta izrađeni od FRP kompozita

Kolovozna ploča mosta je njegov najosjetljiviji element, samim tim što je direktno izložena opterećenju od vozila, zatim hemijskim uticajima, kao i uticajima temperature i vlage. Prednosti njene zamjene sa FRP pločom su mala težina; otpornost na koroziju; brzo postavljanje, uz minimalno ometanje saobraćaja; velika čvrstoća, uz visoke koeficijente sigurnosti, kao i niži troškovi životnog ciklusa. Mala težina ovih ploča, kao i jednostavnost i brzina postavljanja, omogućavaju izvanrednu uštedu u vremenu i radu. Korak dalje je omogućila nova tehnologija postavljanja pomoću spona [Lee, 2007], kojom je dokazano da mostovska konstrukcija može biti zamijenjena u roku od nekoliko sati.

2. FRP sistem za spoljašnje ojačanje

- Ojačanje betonskih konstrukcija se može obaviti spoljašnjim oblaganjem pomoću

kompozitnih materijala. Ova tehnika se pokazala kao uspješna alternativa mnogo skupljoj zamjeni ovih konstrukcija. Njena efikasna primjena kod AB greda se vidi kroz veliki broj sprovedenih eksperimenata [Smith i sar., 2002]. Raspravljalo se i o smjernicama za buduća ispitivanja FRP kompozita u betonskoj proizvodnji [Porter i sar., 2007].

➤ FRP kompoziti svoju primjenu nalaze i u ojačanju prednapregnutih nosača, koji su skloni zamoru čelika. Da bi povećali graničnu nosivost na savijanje, ovi nosači iziskuju spoljašnje ojačanje pomoću karbonskih kompozitnih ploča (CFRP). U radu [Reed i sar., 2004] na primjeru oštećenog 30-godišnjeg betonskog nosača, dokazano je da se smičuća nosivost, kao i nosivost na savijanje, mogu bitno povećati ovim vidom sanacije.

➤ U poređenju sa ispitivanjima izvršenim na gredama, broj teorijskih ispitivanja ojačanja AB ploča pomoću FRP kompozita, ograničen je. Zato je Za modeliranje njihovog ponašanja korišćen je metod konačnih elemenata, kao najefikasniji numerički metod. Utvrđeno je da se ovom vrstom ojačanja, nosivost ploče koja nosi u dva pravca, povećava i do 200 % [Ebead i sar., 2004].

Takođe je vršeno i upoređenje analitičkog i eksperimentalnog modela, pri čemu je utvrđena dobra usaglašenost dobijenih rezultata [Michel i sar., 2009].

➤ NSM tehnologija (Near Surface Mounted) za povećanje nosivosti na savijanje i smicanje oštećenih AB elemenata (kao i drvenih i zidanih), sastoji se u ugrađivanju FRP štapa, kružnog ili pravougaonog poprečnog presjeka, u betonsku površinu. Pri tom su ugrađeni elementi zaštićeni od uticaja spoljašnje sredine, tako što se potpuno pokrivaju prionljivom epoxy smolom. U radu [De Lorenzis i sar., 2001] dokazana je efikasnost ove vrste ojačanja, pri čemu je smičuća nosivost AB grede, bez čelične armature, porasla za 106%.

3. Sanacija čeličnih greda pomoću spoljašnjeg ojačanja

Korozija, zamor i nedostatak pravilnog održavanja su, uglavnom, glavni uzročnici propadanja čeličnih konstrukcija. Velika zatezna čvrstoća i modul elastičnosti karbonskih kompozitnih materijala (CFRP), ih čini materijalima idealnim za ojačanje čeličnih konstrukcija. Uspješnost ove metode zavisi prvenstveno od kvaliteta i ispravnosti veze kompozitni materijal - čelik, kao i od efikasnosti upotrijebljene prionljive materije.

4. Sanacija AB stubova korišćenjem FRP kompozita

U ovom slučaju, najveća pažnja je usmjerena ka ojačanju AB stubova, u cilju prihvatanja seizmičkog opterećenja. Naime, veliku zabrinutost izaziva ponašanje konstrukcija koje nijesu projektovane na seizmičko, već samo na gravitaciono opterećenje. Ove konstrukcije posjeduju neodgovarajuću duktilnost, kao i nedostatak snage. Utvrđeno je da se ovim vidom sanacije može značajno poboljšati otpornost na poprečne deformacija stubova.

5. Armiranje betonskih greda i ploča korišćenjem FRP šipki.šipke kao armatura betonskih greda i ploča

FRP šipke su se zbog svojih karakteristika nametnule kao logičan izbor zamjene čelične armature. Infrastruktura, mostovi, morska sredina ili hemijska postrojenja su primjeri primjene ove armature. Zbog svoje otpornosti na koroziju, upotreba FRP šipki može smanjiti troškove održavanja i sanacije, dok se njihova magnetna neutralnost može iskoristiti kada se žele izbjeći smetnje od magnetnog polja. Zbog različitih mehaničkih svojstava, ponašanje FRP armature se prilično razlikuje od ponašanja tradicionalne čelične. Takođe i trajnost ovih šipki nije jasna tema, pa čak teži da bude i kompleksnija od korozije čelika, zato što na degradaciju materijala utiču komponente kompozitnog materijala. Stoga su mnoga istraživanja sprovedena na tu temu [Ceroni i sar., 2006], u cilju obezbjeđivanja pouzdanih pravila, koja bi se implementirala u propise.

Američki Institut za beton (ACI), izdao je 2008. godine dva nova Priručnika za armaturu u betonu:

- Odredbe za projektovanje uz upotrebu FRP kompozitnih šipki;
- Odredbe za karbonsku i staklenu FRP armaturu u betonu.

SMJERNICE ZA BUDUĆU UPOTREBU FRP KOMPOZITA U GRAĐEVINSKOJ INDUSTRIJI

Najjednostavniji način da se novi materijal uvede u konstrukciju i odatle se upoznamo sa njegovim mogućnostima, leži u zamjeni tradicionalnih materijala s novim. Inovacija u FRP kompozitnim materijalima osamdesetih godina prošlog vijeka, ostvarila je veoma brz napredak u građevinarstvu.

Najveće interesovanje je vladalo za kombinovanje FRP kompozita sa tradicionalnim materijalima, ali je i određeni broj istraživanja usmjeren ka "all FRP" konstruktivnim elementima, tj. onim elementima, uglavnom kod mostova i zgrada, izrađenim isključivo od kompozitnih materijala.

Glavni nedostaci FRP kompozita leže u njihovoj relativno krhkoj prirodi, u odnosu na tradicionalne građevinske materijale, kao i u relativnom neiskustvu nekih od FRP projekatata i, generalno posmatrano, izvodača konstrukcije, što je rezultiralo upotrebom visokih sigurnosnih faktora u projektovanju. Visoke cijene ovog materijala su još jedan faktor koji donekle ograničava njegovu veću primjenu, ali kada se u obzir uzme životni vijek konstrukcije i dugotrajnost materijala, cijena njegovog korišćenja je uglavnom niža od cijene tradicionalnih materijala.

Budućnost primjene FRP kompozita, kao i načini nadgledanja i praćenja konstrukcija tokom njihovog životnog vijeka u, veoma često, nepovoljnom okruženju, zavise od inovativnosti ideja.

U posljednje tri decenije je izloženo nekoliko interesantnih ideja koje su pokazale kako FRP kompoziti pružaju mogućnosti upotrebe tamo gdje tradicionalni materijali nijesu pogodni.

➤ Još davne 1987. godine profesor Urs Meier iz EMPA, Švajcarska, predložio je da se CFRP kompozitni materijali, tj. karbonski kompoziti, upotrijebe za izradu kolovozne ploče i kablova, potrebnih za izgradnju mosta preko Gibraltarovog moreuza. Imajući u vidu da bi čelični kablovi bili ograničeni u tom slučaju, jer nisu mogli imati podršku vlastite težine, a most je trebao obuhvatiti minimalni središnji raspon od 8.4 km, Meier je pokazao da bi upotreba komponenti od kompozitnih materijala značajno uticala na premošćavanje ograničavajućih raspona, i time je stvorio uslove za izgradnju takvog mosta.

Nekim kasnijim ispitivanjima je utvrđeno da su karbonski ugrađeni kablovi idealno rješenje u slučaju izrazito dugih rasponskih konstrukcija. Njihove karakteristike kao što su: mala specifična težina, izražena otpornost na zamor i koroziju, su im obezbijedile prednosti u upotrebi u mostovskim konstrukcijama. Specijalne mjere opreza su potrebne pri odabiru sistema ankerovanja ovih kablova.

➤ Ponašanje zgrada usljed dejstva eksplozije je uvijek aktuelno pitanje. Mnoge stare zgrade sa nearmiranim zidovima ispune, imaju malu nosivost na savijanje i krto ponašanje pri lomu, pa su samim tim i neotporne na opterećenja van svoje ravni. U radu [Casadei i sar., 2007] ispitivan je hibridni sistem, koji objedinjuje visoku čvrstoću FRP sistema sa duktilnošću poliuretanske smole, čije se izduženje kreće i do 400%. Na taj način se postiže sljedeće: zidovima ispune se obezbjeđuje neophodna snaga pri dejstvu opterećenja van njihove ravni; stvara se balistički sloj, koji hvata leteće krhotine, nastale usljed eksplozije; ojačani zidovi postaju deformabilni u dovoljnoj mjeri, da bi bili u stanju da rasipaju energiju a da ne dožive gubitak nosivosti.

- U radu [Asprone i sar., 2008], vršeno je ispitivanje pregrada od staklenih kompozita (GFRP), postavljenih u cilju zaštite aerodromske infrastrukture od zlonamjernih akcija ili prirodnih događaja. Sprovedeni testovi su utvrdili da su korišćenjem ovog vida zaštite obezbijedene visoke strukturne performanse, bez ometanja radio komunikacije. GFRP pregrade su u stanju da se odupru udarima eksplozije i da ublaže talas šoka.

- Recikliranje strukturnih kompozitnih materijala je veoma značajno, mada ima određena ograničenja. Proizvodni proces mora biti ispitan da bi se utvrdile eventualne izmjene u konstrukciji, a sve u cilju ponovnog korišćenja materijala. Američka vojska je naručila dva mosta, kapaciteta oko 130 tona, napravljena isključivo od recikliranog materijala - potrošačke i industrijske plastike. Ovakvi primjeri moraju biti sagledani kao odlični načini upotrebe FRP otpada. Nedavno je ovaj otpad izazvao zabrinutost širom svijeta, sa stanovišta zaštite životne sredine. Mediji su objavili podatak da se oko devet tona FRP otpada generiše svaki dan u Puducherry-ju, gradu u Indiji, a njegovo spaljivanje bi iziskivalo intenzivne troškove, a ujedno bi izazivalo i zagađenje vazduha. Komitet za kontrolu zagađenja u Puducherry, Odjeljenje za nauku, tehnologiju i životnu sredinu (DSTE), pronašao je način upotrebe ovog otpada u izradi opeke. Istražene su mogućnosti dobijanja cigle II klase, korišćenjem FRP otpada, zajedno sa elektrofilterskim pepelom iz obližnje elektrane, gipsom, pijeskom, krečom i vodom. FRP cigle ispunjavaju propisane standarde u pogledu čvrstoće i upijanja vode i mogu se koristiti za posebne građevinske svrhe.

- Primjer novog, inovativnog načina upotrebe kompozita je zamjena cijevi postojećeg cjevovoda, bez skupih iskopa. Zbog eliminisanja značajnih troškova usljed korozije metalnih cijevi vodovoda i kanalizacije, industrijskih pogona i električnih pomoćnih pogona, kompozitne FRP cijevi, otporne na koroziju, su se pokazale kao idealna zamjena.

- Primjena podvodne sanacije korišćenjem FRP omotača, pokazala se kao sporna. Naime, da bi popravka imala stalan karakter, neophodno je, osim cjelokupnog oštećenog betona, ukloniti i uzrok nastanka oštećenja. Naime, agresivni uslovi sredine izazivaju koroziju čelika u betonskom elementu, tako da je nakon popravke neizvjesno šta se dešava unutar FRP omotača.

- Proces praćenja stanja konstrukcije (SHM-structural health monitoring) je, u posljednjih nekoliko godina, izazvao značajan interes u mnogim sferama. Cilj ove metode je da se, korišćenjem strukturno integrisanih senzora, otkrije oštećenje i prati njegov razvoj, kako bi se obezbijedilo pravovremeno upozorenje, kao i dobile informacije neophodne za uspješnu intervenciju. Široko je rasprostranjena upotreba optičkih senzora, na bazi vlakana, koje karakteriše elektromagnetska neutralnost, mala težina i lakoća ugradnje, i oni nas izvještavaju o veličini deformacija i pomjeranja, o opterećenju, vlazi, širini prslina itd. Na bazi podataka dobijenih SHM metodom zasnovani su i mnogi naučni radovi [Kuang i sar., 2009].

- Opštepoznato je da postojeće metode proizvodnje energije, sa stanovišta zaštite životne sredine, nijesu održive. Trenutno poznati izvori uglja i nafte i veličine njihovih depozita, su ograničeni. Osim toga, cijena tih goriva i dalje raste, pa su obnovljivi izvori energije postali racionalniji i profitabilniji [Heinberg i sar., 2009]. Energija od vjetra je trenutno najbrže rastući izvor energije u svijetu, pa su samim tim i divovske lopatice rotora na turbinama postale najbrže rastuća primjena kompozita.

ZAKLJUČCI

U radu je jasno naznačeno da će glavna upotreba kompozitnih materijala u doglednoj budućnosti biti u njihovom spoju sa tradicionalnim materijalima. Visoke čvrstoće i krutosti FRP kompozitnih

materijala zahtijevaće manje materijala za postizanje sličnih performansi kao kod tradicionalnih materijala, što će rezultirati smanjenjem korištenja resursa i smanjenjem otpada proizvodnje. Uopšteno, prednost FRP kompozita je njegova mogućnost da produži životni vijek postojećih konstrukcija, kao i da razvije nove, mnogo otpornije na uticaje starenja, atmosferilija, i degradacije u oštrim uslovima. U radu je istaknut značaj inovativnih ideja, u cilju smanjivanja troškova proizvodnje i uticaja na životnu sredinu. Takođe je neophodan razvoj propisa i standarda koji uključuju razmatranja o sigurnosti, izvedenju i održivosti, potrebni za prenos tehnologije iz laboratorije na tržište.

Na osnovu ranijih zaključaka, jasno je da bi glavni fokus istraživanja u primjeni FRP kompozita trebao biti na području izgradnje novih, racionalnih hibridnih struktura, inovativnih oblika i visokih performansi.

U budućnosti će vjerovatno najveća upotreba strukturnih kompozitnih FRP materijala biti u području građevinskih elemenata namijenjenih za projekte iskorištavanja energije iz vjetra, talasa, HE, geotermalne i solarne energije.

LITERATURA:

- Asprone D, Prota A, Parreti R, Nanni A. *GFRP radar-transparent barriers to protect airport infrastructures* (2008);
- Casadei P, Agneloni E. *Elastic systems for dynamic retrofitting of structures* (2007);
- Ceroni F, Cosenza E, Gaetano M, Pecce M. *Durability issues of FRP rebars in reinforced concrete members* (2006);
- De Lorenzis L, Nanni A. *Shear strengthening of RC beams with near surface mounted FRP rods* (2001);
- Ebead UA, Marzouk H. *Fiber-reinforced polymer strengthening of two-way slab* (2004);
- Heinberg R, Mander J. *Searching for a miracle: net energy's limits and the fate of industrial society* (2009);
- Kuang KSC, Quek ST, Koh CG, Cantwell WJ, Scully. *Plastic optical fibre sensors for structural health monitoring* (2009);
- Lee SU, Hong K-J. *Experiencing more composite-deck bridges and developing innovative profile of snap-fit connections* (2007);
- Michel L, Ferrier E, Agbossou A, Hamelin P. *Flexural stiffness modelling of RC slab strengthened by externally bonded FRP* (2009);
- Porter ML, Harries K. *Future directions for research in FRP composites in concrete construction* (2007);
- Reed CE, Peterman RJ. *Evaluation of prestressed concrete girders strengthened with carbon fiber reinforced polymer sheets* (2004);
- Smith ST, Teng JG. *FRP strengthened RC beams I* (2002).