

UTICAJ DODATKA POLIPROPILENSKIH VLAKANA NA ATHEZIJU MALTERA ZA PODLOGU

DIMITRIJE ZAKIĆ

ORIGINALNI NAUČNI RAD
UDK: 691.53.175-036.7:678.742=861

1. UVOD

Poznato je da malteri i betoni, kao kompozitni građevinski materijali, vrlo slabo prihvataju i podnose napone zatezanja, za razliku od napona pritiska. Ova činjenica uvela je, kao praktično obaveznu, upotrebu čelične armature u zategnutim zonama betonskih elemenata. Takođe, kod malterisanja fasadnih zidova, kao i kod izrade cementnih košuljica, čelična mreža (ili tzv. rabric) postaje nezaobilazni element ovih konstrukcija. Na ovaj način, sprežanjem dva suštinski različita materijala, nastao je novi materijal koji je u oblasti građevinskog konstruktiva obeležio 20. vek – a to je armirani beton.

Praktična primena maltera i betona ojačanih čelikom, uvođenjem ovakvog načina armiranja doživela je veliki kvalitativni skok, ali se razvoj predmetnih kompozita ovde ni u kom slučaju ne završava. Pre bi se moglo reći da je to uspešan početak jedne priče koja tek treba da bude ispričana i čije razmere i domete još ne možemo da dokučimo.

Savremeni trendovi u građevinarstvu na kraju 20. i sa ulaskom u 21. vek neprekidno zahtevaju uvođenje novih tehnologija – u cilju projektovanja i građenja kvalitetnijih, trajnijih i ekonomičnijih konstrukcija. To, svakako, podrazumeva i upotrebu novih građevinskih materijala sa boljim fizičko-mehaničkim, reološkim, tehnološkim, eksploatacionim i drugim karakteristikama u odnosu na već postojeće, uobičajene materijale. Jedan od značajnih produkata ovakvog razvojnog trenda u oblasti građevinarstva je i tzv. mikroarmirani beton, tj. beton sa dodatkom vlakana koja predstavljaju svojevrsnu mikroarmaturu. U ovu, relativno široku grupu kompozita, možemo svrstati i maltere sa dodatkom različitih vlakana, s obzirom da betoni i malteri po svom sastavu, strukturi, tehnologiji proizvodnje i najvećem broju fizičko-mehaničkih karakteristika pripadaju istoj kategoriji građevinskih materijala. Ako usvojimo neku vrstu uslovne analogije između ovih kompozita, onda bismo mogli da maltere ar-

mirane različitim vrstama kratkih, nasumice raspoređenih vlakana, nazovemo mikroarmiranim malterima.

Mikroarmirani malteri predstavljaju kompozitne materijale dobijene ojačanjem cementne matrice pomoću ravnomerno dispergovanih vlakana. Ovakav koncept ne predstavlja ništa novo – prisutan je u građevinskoj praksi i duže nego što je to upotreba maltera i betona. Na primer, vlakna dobijena od slame ili životinjske dlake korišćena su hiljadama godina u cilju poboljšanja svojstava opeke. Isti koncept primenjen je i u slučaju armiranja maltera, odnosno betona. S obzirom na već istaknutu činjenicu da ovi građevinski materijali slabije podnose napone zatezanja, imaju malu žilavost i izraženu deformabilnost usled skupljanja i tečenja, bilo je sasvim logično viševkovno nastojanje graditelja da pomenuta svojstva na neki način poboljšaju. Sa pozicija današnjeg stepena tehnološkog razvoja, rešenje ovog problema čini se jednostavnim: dodavanjem određene, optimalne količine vlakana organskog ili neorganskog porekla u svežu mešavinu maltera ili betona dobićemo kompozit sa unapređenim željenim fizičko-mehaničkim svojstvima.

Danas se u širokoj upotrebi nalazi veoma veliki broj različitih tipova vlakana. S tim u vezi, uputno je izvršiti klasifikaciju mikroarmature, a kao najlogičniji način da se to učini nameće se podela prema vrsti vlakana i materijalu od kog su ona napravljena. U tom smislu, kao najšira mogla bi se dati podela na vlakna veštačkog i na vlakna prirodnog porekla. Vlakna veštačkog porekla možemo, prema vrsti materijala od kog se proizvode, dalje klasifikovati u tri velike grupe:

- čelična vlakna (od običnog ili nerđajućeg čelika);
- polimerna vlakna (polipropilenska, polietilenska, najlonska, karbonska i dr.);
- mineralna vlakna (staklena, azbestna i dr.).

Kao najvažnije vrste vlakana prirodnog porekla možemo da navedemo celulozna, pamučna, jutana i vlakna od konoplje [2].

U okviru daljeg teksta biće reči pre svega o polimernim, tačnije o polipropilenskim vlaknima, kao specifičnom dodatku kompozitima tipa maltera i betona.

Adresa autora: Mr Dimitrije Zakić, dipl. građ. inž., Građevinski fakultet u Beogradu, 11000 Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73.

2. POLIPROPILENSKA VLAKNA KAO DODATAK MALTERIMA I BETONIMA

Sintetička vlakna, kao jedan od mnogobrojnih proizvoda polimernog porekla, pojavila su se prvi put kao rezultat istraživanja i razvoja u okviru petrohemijske i tekstilne industrije. Stalno tragajući za novim mogućnostima njihove primene, naučnici su došli na ideju da ih testiraju kao dodatak malterima i betonima, u cilju poboljšanja određenih karakteristika cementne matrice ovih kompozita. Ovaj način ojačanja matrice pomoću vlakana, koji je ubrzo dobio popularan naziv mikroarmiranje, dao je veoma dobre rezultate, pa je u tu svrhu počeo da se koristi sve veći broj različitih tipova vlakana. Tako su, do današnjih dana, kao mikroarmatura ispitivana i upotrebljavana akrilna, najlonska, polietilenska, aramidna, polieterska, polipropilenska i druga sintetička vlakna. Kao zajednički imenitelj za sve nabrojane vrste vlakana, u smislu njihovih mehaničkih svojstava, mogla bi se navesti zadovoljavajuće visoka čvrstoća pri zatezanju (mnogo veća u odnosu na čvrstoću cementne matrice), uz relativno nizak modul elastičnosti.

Što se tiče polipropilena, ovaj polimer u komercijalnu primenu ulazi 1958. godine, a već desetak godina kasnije samo u SAD njegova potrošnja je premašila 500 miliona tona, zahvaljujući pre svega niskoj ceni i širokim mogućnostima primene [6]. Ovaj sintetički materijal nastaje polimerizacijom nezasićenog ugljovodnika propilena ($\text{CH}_3\text{-CH=CH}_2$) i spada u grupu tzv. termoplastičnih polimera. To znači da kod polipropilena pri zagrevanju dolazi do njegovog razmekšavanja (na temperaturi od cca 160°C), a zatim i topljenja na višim temperaturama, pri čemu ovaj materijal nakon hlađenja ponovo očvršćava, zadržavajući svoja osnovna (početna) svojstva. Postupak razmekšavanja i stvrdnjavanja može se ciklično ponavljati više puta, bez opasnosti od menjanja, odnosno pogoršavanja tehničkih karakteristika. Inače, monomer propilen se dobija u toku procesa rafinisanja nafte, kao i većina drugih nezasićenih ugljovodnika. Kao rezultat polimerizacije formiraju se makromolekuli polipropilena koji predstavljaju lance međusobno povezanih osnovnih molekula – monomera. Zbog njihove karakteristične strukture ovakav tip polimera nazivamo linearnim ili neumreženim polimerima. U principu, njih karakterišu relativno niske vrednosti specifične mase (oko 1000 kg/m^3), slaba toplotna provodljivost i visoka hemijska otpornost. Od lošijih svojstava možemo da navedemo već pomenutu nepostojanost na povišenim temperaturama, nizak modul elastičnosti i velike deformacije tečenja.

Polipropilen se danas upotrebljava u mnogim oblastima, a što se tiče građevinarstva najviše se koristi u obliku cevi, ploča, rabić-mreža, voala, folija, tkanina, filmova i vlakana. Takođe, može se primenjivati i u kombinaciji sa drugim tipovima polimera – na primer kopolimerizacijom sa etilenom dobija se materijal sa poboljšanom otpornošću na udar pri nižim temperaturama. Danas postoji na stotine vrsta polipropilena koje se međusobno razlikuju po načinu dobijanja, kompoziciji, dodacima različitih punilaca (na pr. azbesta, talka ili stakla) itd. Ove razlike u sastavu reflektuju se i na fizičko-mehanička svojstva polipropilena kao što su čvrstoća, tvrdoća, žilavost, površinske karakteristike ili ponašanje na povišenim temperaturama.

Što se tiče primene polipropilena u vidu vlakana, danas su u širokoj upotrebi pre svega monofilamentna vlakna (prečnika od nekoliko desetina do nekoliko stotina mikrona i dužine 5–50 mm), mada se dosta koriste i u fibrilizovanom obliku. Ono što polipropilenska vlakna posebno preporučuje kao mikroarmaturu za maltere i betone je veoma povoljan faktor oblika l/d . Ovaj koeficijent, koji daje odnos između dužine vlakana (l) i njihovog prečnika (d), predstavlja jednu od najznačajnijih karakteristika mikroarmature i u slučaju polipropilena kreće se u granicama od 50 – 5000.

Većina proizvođača nudi vrlo širok dijapazon tipova polipropilenskih vlakana, bilo u pojedinačnom – monofilamentnom obliku, bilo kao međusobno povezana – fibrilizovana vlakna. Osnovna razlika između ove dve vrste vlakana ogleda se u strukturi i dimenzijama. Naime, fibrilizovana vlakna proizvode se kao snopovi debljih vlakana međusobno povezanih u vidu mreže. S druge strane, monofilamentna vlakna su manjih dimenzija, tanja i lakša, pa se bolje disperguju u masi kompozita.

Drugu, takođe bitnu razliku između dva pomenuta tipa vlakana možemo uočiti posmatrajući izgled spoljašnje površine očvrslog maltera, odnosno betona. Fibrilizovana vlakna, kao međusobno povezana, krupnija i teža, imaju tendenciju "isplivavanja" na površinu sveže mešavine tokom ugradnje, a nakon očvršćavanja kompozita bivaju jasno primetna na njegovoj spoljašnjosti. Za razliku od njih, monofilamentna vlakna su nepovezana i znatno lakša, ravnomerno se raspoređuju u svim pravcima, pa su samim tim praktično "nevidljiva" na površini. Naravno, pojam nevidljivosti ovde treba shvatiti sasvim uslovno – tačnije bi bilo reći da su predmetna monofilamentna vlakna teško uočljiva i to samo na ivicama materijala u tzv. kontra-svetlu.

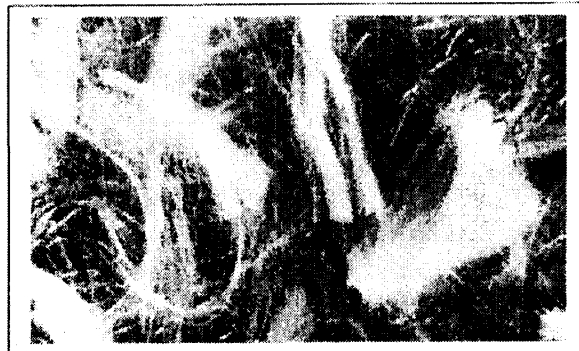
Opisana pojava tzv. "dlakavog maltera" sa izraženim, jasno uočljivim vlaknima na površini, uglavnom je samo estetski neugodna, ali ponekad može da bude i funkcionalno neprihvatljiva. Radi ilustracije, na slici 1, prikazana su oba tipa polipropilenskih vlakana, kao i izgled površine maltera u slučaju primene fibrilizovanih (a), odnosno monofilamentnih vlakana (b).

Treća važna razlika između monofilamentne i fibrilizovane mikroarmature ogleda se u broju vlakana u jedinici zapremine ugrađenog maltera ili betona. Naime, kao što se sa priloženog dijagrama može videti (slika 2), broj monofilamentnih polipropilenskih vlakana (u konkretnom slučaju radi se o vlaknima tipa "Fibrin 23") kreće se, u zavisnosti od primenjene količine, u granicama između 182 – 273 miliona po 1m^3 sveže mešavine, dok odgovarajući broj fibrilizovanih vlakana iznosi svega 5–7 miliona/ m^3 .

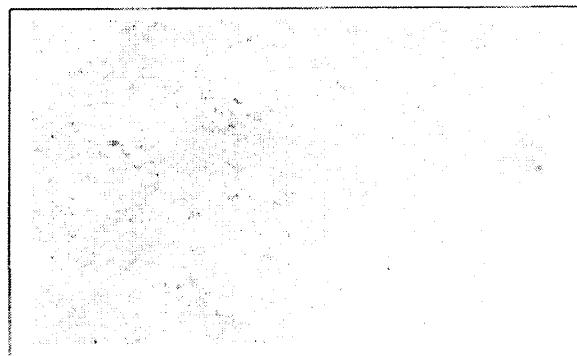
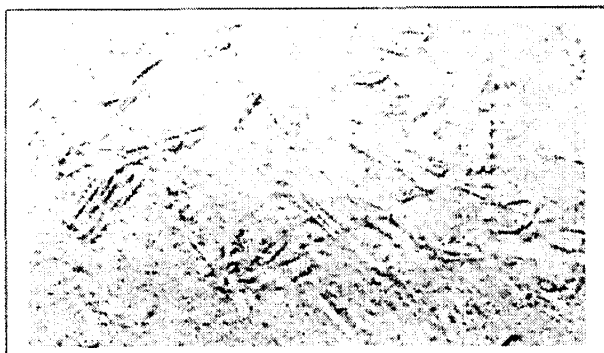
Kao što je već istaknuto, polipropilen ima srazmerno nisku specifičnu masu (manju od 1000 kg/m^3), postojan je na temperaturama nižim od $150\text{--}160^\circ\text{C}$ i predstavlja dobar termoizolacioni i elektroizolacioni materijal. Hemijski je inertan, što znači da se ponaša neutralno u toku određenih hemijskih procesa (kao što je, na primer, hidratacija cementa). Takođe, ima visoku otpornost u uslovima agresivnog delovanja kiselina i soli. Ni alkalna sredina, koja je karakteristična za maltere i betone, nema značajnijeg uticaja na promenu kvaliteta ili trajnosti polipropilenskih vlakana. Dalje, polipropilen je neporozan, tj. ne apsorbuje vodu i u principu ima hidrofobnu površinu (ukoliko nije naročito površinski obrađivan).



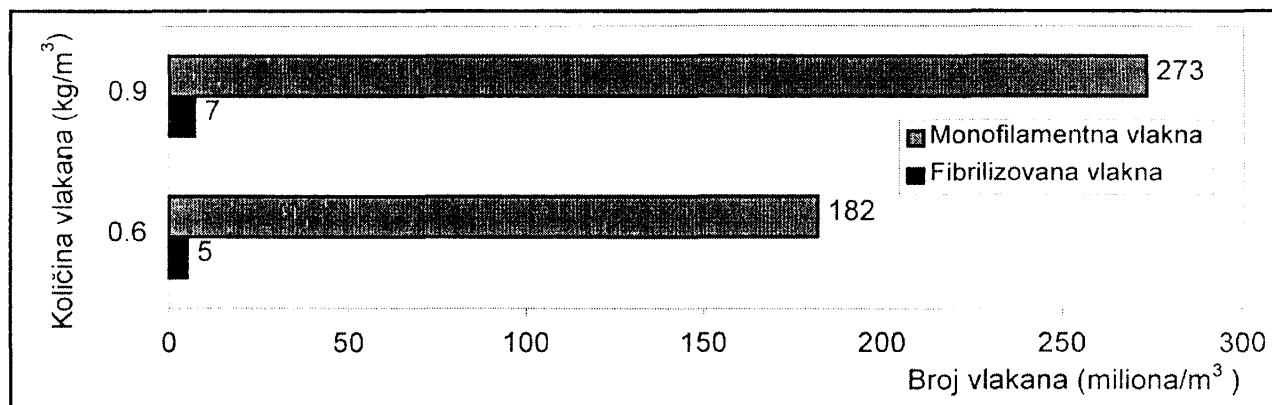
a)



b)



Slika 1. Razlika u izgledu između fibrilizovanih (a) i monofilamentnih (b) vlakana (gore), odnosno površina mikroarmiranih maltera sa ovim tipovima vlakana (dole)



Slika 2. Poređenje broja vlakana u funkciji tipa i količine

Što se tiče mehaničkih karakteristika, polipropilen je materijal sa visokom čvrstoćom na zatezanje koja je približno jednaka njegovoj čvrstoći pri pritisku. Ima visoku konstrukcionu povoljnost, tj. odnos između čvrstoće materijala i njegove zapremine mase. Ovaj koeficijent (K_{kp}) kod polipropilena iznosi preko 200, što je daleko više od čelika ili betona. Što se tiče deformacionih svojstava, predmetni polimer ima izraženu duktilnost (izduženje pri lomu iznosi 6–25 %), ali uz dosta nizak modul elastičnosti (svega 4–12 GPa). S druge strane, Poasonov koeficijent je srazmerno veliki, na šta treba obratiti pažnju u slučajevima kada su nam bitne vrednosti poprečnih deformacija.

Otpornost polipropilena pri dinamičkim uticajima je zadovoljavajuća, mada on postaje krto na temperaturama ispod 20°C, o čemu takođe treba voditi računa [3]. Uz

nisku vrednost modula elastičnosti, slabiju stranu polipropilenskih vlakana čini i nedovoljna athezija sa cementnom matricom, što se uspešno prevazilazi pomoću modifikacije površinskog sloja, odnosno premazivanjem vlakana odgovarajućim supstancama za poboljšanje prionljivosti. Takođe, uobičajen je i postupak statičkog naelektrisanja predmetnih vlakana u toku procesa proizvodnje, radi kasnijeg bržeg i efikasnijeg dispergovanja unutar cementne matrice. Na povišenim temperaturama polipropilen se prvo razmekšava (na oko 160°C), zatim se topi i konačno postaje zapaljiv (na ~ 590°C).

Od reoloških karakteristika možemo reći da polipropilen nije podložan skupljanju, ali da ima izražene deformacije tečenja i to već pri relativno niskim vrednostima napona. Zbog svoje izuzetno male debljine, tj. zbog visoke vrednosti faktora oblika l/d , polipropilenska vlakna

imaju veliku specifičnu površinu od preko 200 m²/kg. Pri tome, kao što je već rečeno, ukupan broj pojedinačnih vlakana u jedinici mase može da iznosi i više stotina miliona.

Neke od najvažnijih, pre svega fizičkih i mehaničkih karakteristika polipropilena, kao materijala od koga se proizvode predmetna polipropilenska vlakna, prikazane su u tabeli 1 [4].

Tabela 1. Važnije karakteristike polipropilena

Karakteristika	Vrednost
Specifična masa γ_s [kg/m ³]	900 – 910
Čvrstoća pri zatezanju f_z [MPa]	300 – 750
Modul elastičnosti E [GPa]	3,5 – 12,0
Izduženje pri kidanju δ [%]	6,0 - 25,0
Tačka razmekšavanja T_r [°C]	~ 160
Tačka paljenja T_p [°C]	~ 590
Udarna žilavost (pri $T=20^\circ\text{C}$) ρ [J/cm ²]	~ 0,30
Upijanje vode u [%]	0
Koeficijent toplotne provodljivosti λ [W/m°C]	0,088
Termički koeficijent linearnog širenja α_T [1/°C]	120 · 10 ⁻⁶
Toplotna provodljivost i električna provodljivost	niska
Koroziona otpornost (na kiseline, baze i soli)	visoka

Proces proizvodnje polipropilenskih vlakana podrazumeva, u prvoj fazi, ekstrudiranje polipropilenskih granula. Ovaj postupak, koji se još naziva i kontinualnim brizganjem, sastoji se u ubacivanju granula polimera u specijalne pužne prese, gde se masa zagrevanjem prvo razmekšava, a zatim pomoću klipa brizga – utiskuje u kalup koji odgovara formi elementa koji se proizvodi. Ovako dobijen materijal se dodatno zagreva, a zatim isteže da bi mu se povećala čvrstoća pri zatezanju, sve dok se ne dobiju vlakna željenog prečnika. Nakon toga, polipropilen se površinski obrađuje, premazivanjem naročitim supstancama za poboljšavanje athezije i za smanjenje hidrofobnosti, kao i nanošenjem statičkog naelektrisanja radi boljeg dispergovanja vlakana. Konačno, predmetna vlakna se seku na potrebnu dužinu i eventualno uvijaju, ako se želi dobijanje vlakana talasastog oblika. Ovakav oblik se često primenjuje jer pogoduje poboljšanju athezije sa cementnim kamenom, a na ovaj način se takođe smanjuje mogućnost izvlačenja (čupanja) vlakana iz matrice pri nastanku prslina [5].

Što se tiče tehnoloških aspekata primene polipropilenskih vlakana za spravljanje maltera ili betona, treba naglasiti da prisustvo predmetne mikroarmature u izvesnoj meri utiče na pogoršanje ugradljivosti i obradljivosti svežih mešavina, ali da se ovaj efekat uglavnom može zanemariti – s obzirom na nizak sadržaj vlakana u odnosu na ostale komponentne materijale. Ono o čemu svakako treba posebno povesti računa je produženo mešanje tokom spravljanja kompozita (barem dva puta duže nego što je to uobičajeno kod klasičnih mešavina), uz obavezno vibriranje prilikom ugradnje u cilju ravnomernijeg dispergovanja vlakana u svim pravcima i sprečavanja pojave njihovog nagomilavanja i grupisanja na pojedinim mestima.

3. SASTAV ISPITIVANIH MALTERSКИH MEŠAVINA

U okviru eksperimentalnih ispitivanja koja su predmet ovog rada, tretirane su malterske kompozicije na bazi cementa kao veziva, standardnog trofrakcijskog kvarcnog peska (0/2 mm) kao agregata, vode i polipropilenskih vlakana tipa "Fibrin". Za potrebe predmetnog istraživanja, predviđeno je da se izvrši spravljanje i ispitivanje svojstava tri različite vrste maltera na bazi dodatka polipropilenskih vlakana. Pojedini tipovi maltera označeni su rimskim brojevima (I – III), od kojih svaki broj predstavlja oznaku serije maltera. Pri tome, serija I odnosi se na malter spravljen bez dodatka polipropilenskih vlakana, tj. ovaj kompozit predstavlja referentni malter – etalon. Serije II i III spravljenе su sa dodatkom monofilamentnih polipropilenskih vlakana "Fibrin", uz varijaciju tipa mikro- armature. Tako je u okviru serije II upotrebljeno 900 g/m³ vlakana "Fibrin 623" (dužine 6 mm), a u okviru serije III 900 g/m³ vlakana "Fibrin 23" (dužine 12 mm). Pri tome su učešća cementa, vode i agregata bila konstantna kod svih tretiranih serija maltera. Takođe, nije menjan ni tip cementa, niti vrsta ili granulometrijski sastav agregata (peska). Ovakav način sastavljanja recepture primenjen je iz razloga što je, kao primaran, posmatran uticaj dodatka polipropilenskih vlakana na promene pojedinih svojstava maltera.

U praksi je uobičajeno da se sastav maltera određuje eksperimentalnim putem, polazeći od zahtevanih uslova vezanih za način primene, predviđenu debljinu sloja, potrebnu konzistenciju itd., a sve u skladu sa odgovarajućim tehničkim propisima za maltere. Sam postupak određivanja recepture, koji podrazumeva proračun potrebnih količina komponentnih materijala (u kg/m³), odvija se u više iterativnih koraka. Naime, kao prva etapa može se usvojiti projektovanje mešavine na osnovu poznatih teorijskih i empirijskih obrazaca i formula. Zatim sledi faza eksperimentalne provere određenih karakteristika na uzorcima svežeg i očvrslog maltera, uz eventualne korekture sastava. Na kraju se, kao merodavna, usvaja konačna receptura za kompozit sa optimalnim željenim svojstvima.

Sastav maltera se u praksi najčešće definiše u obliku zapreminskih ili, što je ređi slučaj, u obliku masenih odnosa komponentnih materijala. To znači da se, prilikom projektovanja recepture, ove veličine, tj. njihovi međusobni odnosi, moraju pretpostaviti. Usvajanje ovih polaznih parametara za utvrđivanje sastava maltera vrši se ili na osnovu prethodno pretpostavljenih – iskustvenih podataka ili na bazi odgovarajućih propisa, standarda, naučne i stručne literature i sl.

S obzirom da je primarni cilj istraživanja o kojima je ovde reč bio utvrđivanje uticaja dodatka polipropilenskih vlakana na određeno fizičko-mehaničko svojstvo maltera (atheziju za podlogu), pošlo se od uslova da se eventualni negativni uticaj ostalih komponenti (cementa i agregata) na predmetno svojstvo, svede na najmanju moguću meru. Iz tog razloga, kao polazna receptura usvojen je sastav tzv. plastičnog cementnog maltera, koji se koristi za utvrđivanje klase cementa. Za spravljanje tri standardne prizme dimenzija 4 x 4 x 16 cm (ukupna zapremina = 768 cm³) od ovakvog maltera, potrebne su sledeće količine komponentnih materijala:

– standardni trofrakcijski kvarcni pesak	
– frakcija I _a (0,09 – 0,15 mm)	150 g
– frakcija I _b (0,15 – 0,50 mm)	300 g
– frakcija II (0,50 – 1,00 mm)	450 g
– frakcija III (1,00 – 2,00 mm)	450 g
	<hr/> 1350 g
– cement	450 g
– voda	225 g

Količine ovih komponentnih materijala u 1 m³ ugrađenog maltera, približno sračunate (uzimajući u obzir da se upotrebom standardom predviđenih količina cementa, peska i vode dobija za 15 – 20% više sveže mešavine nego što je potrebno za ispunjavanje trodelnog kalupa), iznose:

- masa cementa $m_c = 500 \text{ kg/m}^3$,
- masa vode $m_v = 250 \text{ kg/m}^3$,
- masa peska $m_p = 1500 \text{ kg/m}^3$.

To znači da važe sledeći maseni odnosi između komponentnih materijala:

$$\begin{aligned} m_c : m_p &= 1 : 3 \\ m_v : m_c &= 0,50 \end{aligned} \quad (3.1.)$$

Ove relacije, uz prethodno poznavanje zapreminskih masa upotrebljenih materijala, mogu se prikazati i u obliku zapreminskih odnosa:

$$\begin{aligned} V_c : V_p &= 1 : 2 \\ V_v : V_c &= 1 : 1,945 \end{aligned} \quad (3.2.)$$

Ovde su:

m_c, V_c = masa i ukupna zapremina cementa,

m_p, V_p = masa i ukupna zapremina peska,

m_v, V_v = masa i ukupna zapremina vode.

Količina vode, odnosno vodocementni faktor $\omega = 0,50$, izabrani su na osnovu kriterijuma konzistencije. Kao što i sam naziv predmetnog maltera kaže – u ovom slučaju radi se o mešavini plastične, odnosno plastično-tečne konzistencije.

Kod projektovanja sastava maltera sve više se primenjuje postupak zasnovan na poznavanju zapreminske mase svežeg, ugrađenog maltera uz korišćenje takozvane masene jednačine:

$$m_c + m_p + m_v = \gamma_{m,sv} \quad (3.3.)$$

Zamenom vrednosti masa komponentnih materijala u jedinici zapremine [kg/m^3], dobijena je projektovana (očekivana) zapreminska masa predmetnog maltera u svežem stanju:

$$\gamma_{m,sv} = 500 + 1500 + 250 = 2250 \text{ kg/m}^3$$

Što se tiče procentualnog sadržaja vlakana (po zapremini) kod etalona on je iznosio $\Delta V_{vl} = 0\%$, a kod serija II i III: $\Delta V_{vl} \approx 0,1\%$. Kao što se vidi, ove količine su dovoljno male, pa praktično nisu imale značajnog uticaja ni na zapreminske, ni na masene odnose u okviru malterske smeše.

4. ISPITIVANJE ATHEZIJE MALTERA ZA PODLOGU

Prianjanje, odnosno athezija maltera za podlogu zavisi od velikog broja faktora. Te faktore mogli bismo da podelimo u dve grupe, prema sledećem kriterijumu: da li na njih može da utiče dodatak vlakana ili ne? U prvu grupu (na koju mikroarmiranje ne utiče) spadaju: vrsta po-

dloge ("stari" malter ili beton, opeka, kamen i dr.), pripremljenost površine podloge (da li je ona prethodno očišćena od masnoće i da li je eventualno skinut površinski sloj koji je slabijeg kvaliteta), zatim ravnost odnosno hrpavost podloge, poroznost podloge i njena tzv. mikrotopografija (kolika je razvijena površina), vlažnost podloge itd. U drugu, u ovom slučaju važniju grupu uticajnih faktora spadaju: sastav maltera (uključujući tu i vrstu i količinu primenjenih vlakana), konzistencija sveže mešavine koja se nanosi na podlogu, kao i eventualno nanošenje sloja tzv. špric-maltera i njegov sastav (na pr. da li se i ovom prilikom dodaje izvesna količina vlakana ili ne).

S obzirom da prisustvo vlakana u cementnoj matrici generalno poboljšava površinske karakteristike maltera, logična je pretpostavka da će i kvalitet veze između starog i novog materijala biti takođe bolji. Maksimalan stepen prianjanja trebalo bi da se ostvari ukoliko se postojeća podloga pravilno obradi, što podrazumeva njeno čišćenje mehaničkim putem (peskarenjem ili čeličnom četkom) i kvašenje – vodom ili još bolje cementnim mlekom uz dodatak manje količine vlakana. Prethodno kvašenje podloge je od naročitog značaja, posebno u slučaju kada je podloga napravljena od materijala sa izraženom poroznošću (na pr. opeka ili lakoagregatni kompoziti). Ukoliko bismo svež malter naneli na suhu i nepripremljenu podlogu došlo bi do "izvlačenja" vode iz sveže mešavine i njenog kapilarnog upijanja od strane podloge. Ovo bi moglo da ugrozi proces hidratacije cementa, a takođe, na površini maltera bi mogle da nastanu prsline kao posledica plastičnog skupljanja.

Takođe, veoma je bitna i konzistencija sveže malterske mešavine. Naime, s obzirom da se malter nanosi u relativno tankim slojevima (reda veličine do 3 cm), treba posebno voditi računa o njegovoj obradljivosti i ugradljivosti. Isto tako, važno je da se u najvećoj mogućoj meri obezbedi ravnomernost veze malter-podloga, što podrazumeva optimalno popunjavanje svih neravnina (udubljenja, pukotina i sl.) na površini podloge.

Što se tiče metoda za eksperimentalno određivanje veličine athezije, generalno se koriste dva načina: ispitivanje na zatezanje ili ispitivanje na smicanje. Ispitivanje athezije putem smicanja predstavlja povoljniji slučaj, jer se pri smicanju aktivira daleko veća razvijena površina, pa su rezultati koji se tom prilikom ostvaruju znatno veći (čak i do 100%). No, ispitivanjem athezije pri čistom aksijalnom zatezanju nalazimo se na strani sigurnosti, pa je ovaj način ispitivanja usvojen kao merodavan u eksperimentalnom delu predmetnih istraživanja.

U vezi sa svim što je napred rečeno, napravljen je plan ispitivanja athezije između maltera koji su tretirani u ovom radu i odgovarajuće podloge, izabrane u vidu gotovih (prefabrikovanih) betonskih ploča dimenzija 50 x 50 x 5 cm. Kao što je već istaknuto, izvršeno je spravljanje tri grupe maltera, sa oznakama: serija I (etalon – bez dodatka vlakana), II (malter sa dodatkom 900 g/cm³ vlakana "Fibrin 623") i III (malter sa dodatkom 900 g/cm³ vlakana "Fibrin 23").

Spravljanje maltera vršeno je ručno (mešanjem lopatom u kolicima), nakon čega je usledilo ugrađivanje, odnosno nanošenje svežih mešavina na podlogu. Tokom manuelnog spravljanja, tj. mešanja svežeg maltera, vizuelnim putem su praćene eventualne promene konzisten-

cije i homogenosti tretiranih smeša. Tom prilikom, primena je pojava grupisanja i nagomilavanja vlakana na pojedinim mestima, tako da je sam proces mešanja produžen za još nekoliko minuta u odnosu na mašinski postupak spravljanja. Što se tiče konzistencije, kao i ugradljivosti i obradljivosti svežih kompozita, nisu bile uočene neke bitnije promene.

Nakon spravljanja, sveže malterske mešavine su nanošene na podlogu u sloju približne debljine od 3 cm. Ugrađivanje maltera preko betonskih ploča vršeno je takođe manuelnim putem, tj. zbijanjem pomoću odgovarajuće drvene letvice. Ove ploče su prethodno očišćene čeličnom četkom, nakon čega je pomoću kompresora uklonjena prašina sa površine betona. Na jedan čas pre spravljanja i nanošenja maltera, predmetne ploče su dobro nakvašene vodom i postavljene u odgovarajuću oplatu.

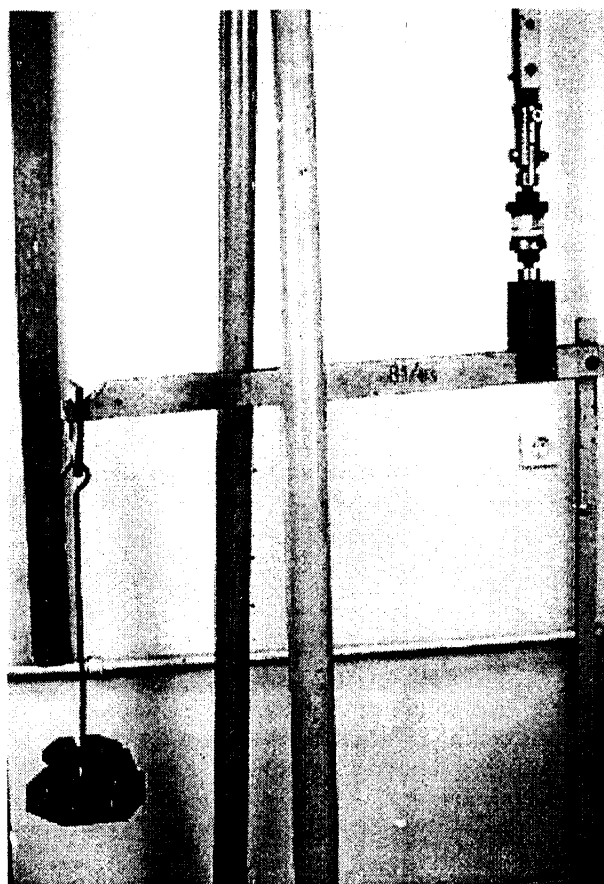
Oplata je napravljena u vidu rama, a sa strana je izvršeno zaptivanje spojeva pomoću stolarskog kita – da ne bi došlo do iscurivanja svežeg maltera u toku ugradnje. Na ovaj način, ukupno su pripremljene tri betonske ploče (za svaku seriju maltera po jedna), pri čemu je svaka od njih poprečnom drvenom letvicom podeljena na dva polja. Ovakva podela ploča izvršena je iz razloga ispitivanja uticaja koji različita priprema površine podloge ima na ostvarenje athezije između maltera i betona. Naime, kao što je napomenuto, pre ugrađivanja svežeg maltera vršeno je nanošenje osnovnog sloja (tzv. predpremaza ili špric-maltera) na svaku od ploča. Pri tome, jedna polovina ploče (sa oznakom A) premazivana je cementnim mlekom, dok je druga polovina (sa oznakom B) tretirana takođe cementnim mlekom, ali uz dodatak izvesne, manje količine vlakana. Isti postupak pripreme površine podloge obavljen je na sve tri ploče, odnosno pre nanošenja sve tri serije maltera (I, II i III).

Paralelno sa ugrađivanjem svežih mešavina u oplatu postavljenu preko betonskih ploča, uzeti su i uzorci maltera (po 6 prizmi dimenzija 4 x 4 x 16 cm od svake serije) za ispitivanje čvrstoće pri pritisku i čvrstoće pri savijanju nakon 7, odnosno 28 dana od spravljanja. Negovanje maltera korišćenih za ispitivanje athezije sa podlogom vršeno je u prva tri dana starosti, i to pokrivanjem vlažnom tkaninom – sargijom, koja je u tom periodu s vremena na vreme dodatno kvašena. Nakon toga, u toku sledećih 25 dana ploče su čuvane na vazduhu, u kondicioniranim laboratorijskim uslovima (temperatura $T=20 \pm 2^\circ\text{C}$, vlažnost $H=60 \pm 5\%$).

Posle 28 dana od spravljanja i ugrađivanja maltera, iz svake ploče izvađeno je po 6 uzoraka – kernova, tj. po 3 uzorka iz polja A i tri uzorka iz polja B. Na taj način uzeto je ukupno 18 kernova u vidu cilindra dimenzija $\varnothing 50\text{ mm}$, $H \sim 80\text{ mm}$. Svim uzorcima dodeljene su posebne oznake koje su ukazivale na seriju maltera (I, II ili III), kao i na način obrade podloge (A ili B) – na primer I_A, III_B itd. Posle odgovarajuće obrade kernova u laboratoriji (izravnavanje površina bazisa cilindra putem sečenja specijalnom testerom sa dijamantskom krunicom), izvršeno je lepljenje čeličnih pločica sa jedne strane na osnovu od maltera, a sa druge na podlogu od betona. Ovo lepljenje je izvršeno pomoću epoksidnog lepka, nakon čega su uzorci stajali na vazduhu još 48 časova koliko je potrebno da epoksid

postigne dovoljnu čvrstoću potrebnu za ispitivanje athezije.

Athezija (prianjanje) između tretiranih maltera i betonske podloge ispitivana je u Laboratoriji za ispitivanje konstrukcija Građevinskog fakulteta, na specijalnom čeličnom ramu (slika 3).



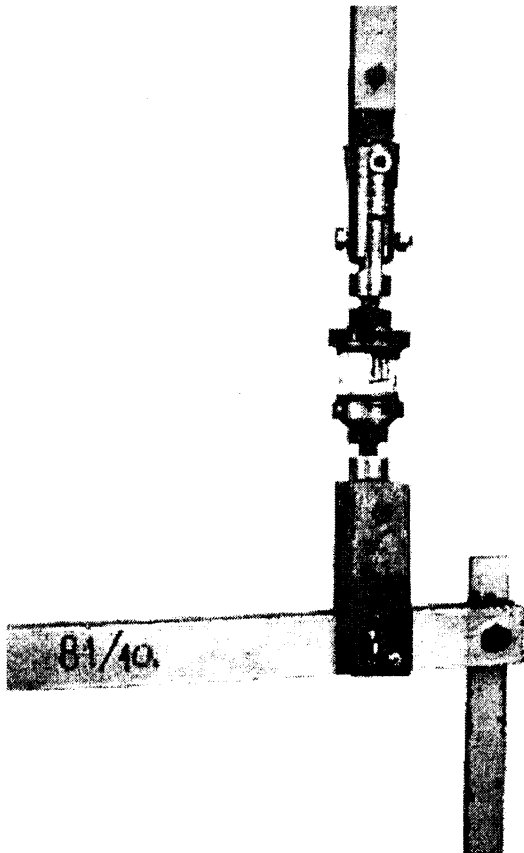
Slika 3. Ram za ispitivanje athezije između maltera i betonske podloge

Ovaj ram predstavlja u stvari sistem raznokrakah poluga, kod koga se nanošenjem odgovarajućeg opterećenja sa jedne strane zglobnog oslonca dobija 8,1 puta veća sila zatezanja na drugoj strani gde je postavljen ispitivani uzorak. Cilindrični uzorci su sa gornje i donje strane imali našrafljene-specijalne čelične elemente, pomoću kojih je obezbeđena zglobna veza prilikom ispitivanja, tj. čisto aksijalno zatezanje. Dispozicija o kojoj je reč prikazana je na slici 4.

Ispitivanje prianjanja vršeno je postepenim nanošenjem tegova (tačnost do na 1 kg), sve do loma uzoraka. Veličina athezije računata je kao granični napon zatezanja prema formuli:

$$f_{ot} = \frac{P}{F} = \frac{P}{19,635} \cdot 10 \text{ [MPa]} \quad (4.1.)$$

gde je: f_{at} – athezija (prianjanje) izražena u [MPa], P – srednja vrednost granične sile ostvarena pri lomu 3 uzorka iste serije maltera (izražena u [kN]), F – površina poprečnog preseka ispitivanih kernova ($19,635\text{ cm}^2$).



Slika 4. Uzorci – kernovi spremni za ispitivanje athezije

Prilikom predmetnih ispitivanja, u obzir su uzeti i masa nosača tegova, kao i masa čelične poluge (izražene u kilogramima), pa su ove mase zajedno sa masom tegova nanesenom do trenutka loma preračunavane u jedinice koje odgovaraju sili zatezanja P (u kN). Dobijene vrednosti athezije na svih 6 serija – vrsta uzoraka (sračunati kao aritmetička sredina po 3 rezultata ispitivanja), prikazani su u okviru tabele 2.

Tabela 2. Rezultati ispitivanja athezije između maltera i betonske podloge

Serija–vrsta uzorka	Granična sila zatezanja P [kN]	Athezija (prianjanje) f_{at} [MPa]
I _A	1,87	0,95
I _B	2,16	1,10
II _A	2,14	1,09
II _B	2,41	1,23
III _A	3,21	1,64
III _B	4,00	2,04

5. ZAKLJUČAK U VEZI REZULTATA ISPITIVANJA

Na osnovu rezultata ispitivanja prikazanih u tabeli 2 može se izvući zaključak da dodatak monofilamentnih polipropilenskih vlakana (u količini od 900 g/m^3) poboljšava atheziju između maltera i betonske podloge. Ovo

poboljšanje znatno više je izraženo u slučaju upotrebe dužih vlakana ("Fibrin 23") kod serije III, nego kod primene kraćih ("Fibrin 623") – serija II. Ako se razlike u veličini prijanjanja između pojedinih ispitivanih serija izraze u procentima, u odnosu na etalonske uzorke, dobiće se sledeći kvantitativni pokazatelji poboljšanja athezije:

- serija II: $\Delta_{II} = 11,8 - 14,7 \%$,
- serija III: $\Delta_{III} = 72,6 - 85,5 \%$.

Takođe, na osnovu analize predmetnih rezultata, moguće je zaključiti da se izvesno povećanje athezije ostvaruje i ukoliko se osnovnom (prvom) sloju špric–maltera doda manja količina vlakana. I ovde se mogu sračunati procentualne razlike između rezultata athezije dobijenih ispitivanjem pojedinih uzoraka serija I, II i III sa oznakom B (sa dodatkom polipropilenskih vlakana na kontaktu starog i novog kompozita), u odnosu na odgovarajuće rezultate istih serija, ali sa oznakom A (kontaktna zona isprskana samo cementnim mlekom). Ova poboljšanja prijanjanja iznose:

- serija I: 15,8 %,
- serija II: 12,6 %,
- serija III: 24,6 %.

Prilikom ispitivanja čvrstoće pri savijanju i čvrstoće pri pritisku maltera korišćenih za određivanje athezije dobijeni su približno isti rezultati (na 7, odnosno 28 dana starosti) kao i na uzorcima maltera serija I, II i III spravljenih mašinskim putem za potrebe određivanja mehaničkih karakteristika (čvrstoće pri savijanju i čvrstoće pri pritisku). Jedina razlika je u tome što je primećeno grupisanje manjih količina vlakana na pojedinim mestima kod ručno spravljenih serija maltera (za potrebe ispitivanja athezije), ali ovome nije pridavana posebna pažnja, s obzirom na to da ova činjenica nije uticala na smanjenje kvaliteta, odnosno pad čvrstoća predmetnih kompozita.

S obzirom da ni u domaćoj, a ni u stranoj literaturi nema mnogo podataka o atheziji (prianjanju) mikroarmiranih maltera za podlogu, ova tematika bi, kao vrlo interesantna, mogla da bude osnova za neka buduća, znatno šira eksperimentalna istraživanja. Usled nedostatka dovoljnog broja pouzdanih informacija, u ovom trenutku mi možemo samo da pretpostavimo prirodu mehanizma čijim se odvijanjem povećava athezija za podlogu (čak do 80%) kod maltera ojačanih polipropilenskim vlaknima, u odnosu na konvencionalne, uobičajeno korišćene maltere spravljene bez dodatka mikroarmature.

LITERATURA

- [1] D. Zakić: Fizičko–mehanička svojstva maltera sa dodatkom polipropilenskih vlakana, magistarska teza, Građevinski fakultet u Beogradu, Beograd, 2001.
- [2] M. Muravljov, M. Uljarević: Mikroarmirani betoni, Monografija "Specijalni betoni i malteri – svojstva, tehnologija, primena", Građevinski fakultet u Beogradu, Beograd 1999. godina, str. 97–117.
- [3] V. Ukrainčik, J. Šušteršić: Neka svojstva mikroarmiranih betona, Naše građevinarstvo br. 45, 7–8, 1991. godina, str. 461–468.
- [4] P.N. Balaguru, S.P. Shah: Fiber Reinforced Cement Composites, Mc Graw–Hill, New York, 1992.
- [5] R. Schepers: Faserbetone mit Kunststoffasern fuer den Wohnungs– und Industriebau, Seminar "Materialtechnologis-

- che Besonderheiten und praktische Anwendungen", Linz, Austria, 1995.
- [6] Encyclopedia of Polymer Science and Technology, Interscience Publishers – a Division of John Wiley and Sons, New York, 1969, Vol. 11, str. 597–619.
- [7] M. Muravljov, D. Jevtić, D. Zakić: Uticaj dodatka polipropilenskih vlakana na neka osnovna svojstva maltera, Simpozijum INDIS 2000, Novi Sad, 2000, knjiga 2, str. 37.
- [8] P. Soroushian, A. Khan, J.W. Hsu: Mechanical Properties of Concrete Materials Reinforced with Polypropylene or Polyethylene Fibers, ACI Materials Journal, No 89, 1992, str. 535.
- [9] G.L. Vondran, M. Nagabhusharam, R. Zellers: Performance Characteristics of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete, Fiber Reinforced Cement and Concretes: Recent Developments, Elsevier, New York, 1989, str. 533–543.
- [10] M. Mashima, D.J. Hannant, J.G. Keer: Tensile Properties of Polypropylene Reinforced Cement with Different Fiber Orientations, ACI Materials Journal, No 87, 1990, str. 172.