

EXPERIMENTÁLNE MERANIE SÚDRŽNOSTI PREDPÍNACÍCH LÁN PULL-OUT TESTAMI S POUŽITÍM PROTİKORÓZNYCH PROSTRIEDKOV NA BÁZE OLEJA ■ EXPERIMENTAL MEASUREMENT OF STRAND BOND STRESS WITH PULL-OUT TESTS USING OIL BASED ANTICORROSION AGENTS

Ján Laco, Viktor Borzovič,
Jaroslav Halvonik

Väčšina dodatočne predpäťých mostov je navrhnutá za predpokladu úplného spolupôsobenia medzi predpínacou výstužou a okolitým betónom. Hlavným dôvodom je ochrana predpäťia proti korózii počas životnosti mosta, hustejšie rozmiestnenie trhlín pri čiastočne predpäťom betóne a vyššia odolnosť na medzi únosnosti. Investor však zvyčajne požaduje ochranu predpínacích jednotiek aj v čase pred injektážou, teda počas uskladnenia na stavbe a aj počas ukladania predpínacej výstuže do konštrukcie. Z tohto dôvodu sa používajú najmä protikorózne prostriedky na báze oleja. Taktiež však môže požadovať aj skúšky súdržnosti. Preto je nevyhnuté poznať skutočnú napätosť v súdržnosti v konštrukcii a do akej miery ovplyvňujú antikorózne prostriedky maximálnu pevnosť v súdržnosti medzi predpínacou jednotkou a injektážnou maltou. ■ The most of post-tensioned concrete structures are designed with bonded tendons. That means that the tendons interact with the surrounding concrete. The main reason why to design such kind of tendons is their anticorrosion protection, denser crack pattern in partly prestressed structures and higher resistance at the ultimate limit state. Developers usually require corrosion protection also during storage of the strands on the construction site. Oil agents are mostly used for this purpose. The developer can also require bond tests. Therefore it is necessary to know the real bond stress in construction and how emulsifiable oils affect the total bond strength between the prestressing unit and the injecting grout.

Teoretické predpoklady spojené s pôsobením protikorózných prostriedkov na báze oleja bolo nevyhnuté overiť experimentálnymi skúškami.

Na základe skúseností s meraním súdržnosti vo svete bol ako prvý krok experimentálneho overovania zvolený pull-out test sedemdrôťového predpínacieho lana. Po analýze doteraz vykonaných experimentov v zahraničí a preskúmaní dostupných možností výroby vzoriek a ich skúšania bola ako podklad pre výrobu vzoriek použitá americká norma ASTM A981 s určitými modifikáciami. Úpravy súvisia najmä s konštrukciou samotnej vzor-

ky pre lepšie vystihnutie podmienok uloženia predpínacej jednotky v dodatočne predpäťom prvku.

Meranie súdržnosti predpínacích jednotiek opatrených protikoróznymi prostriedkami bolo rozdelené na dve fázy. V prvej bolo vyrobených dvadsať jeden vzoriek rôznych typov, pričom bol aplikovaný druh protikoróznej emulzie bežne používaný na našom území aj v okolitých štátoch. Na základe dosiahnutých výsledkov bol zvolený najvhodnejší typ skúšobného telesa pre druhú fázu. V druhej fáze bolo vyrobených tridsať šesť vzoriek a odskúšaný okrem protikoróznej emulzie z prvej fázy aj ďalší druh protikoróznej ochrany.

VZORKY I. FÁZY PULL-OUT TESTOV

V prvej fáze experimentálneho merania boli stanovené tri základné typy vzoriek pre meranie vplyvu protikoróznej emulzie na súdržnosť predpínacích jednotiek. Vzorky boli valcového tvaru s priemerom 165 mm a dĺžkou 600 mm vytvorené PVC rúrami.

Pri prvom type vzoriek bola do stredu plastovej rúry osadená oceľová korugovaná rúrka priemeru 40 mm. Tieto vzorky boli označené ako „R“.

V druhom prípade bola použitá plastová hladká rúrka rovnakého priemeru ako korugovaná oceľová – typ „BR“.

Priestor medzi plastovou formou a korugovanou oceľovou alebo hladkou plastovou rúrkou bol vyplnený konštrukčným betónom, ktorý dosahoval kockovú pevnosť 30 MPa.

Hladké plastové rúrky boli po zatvrdnutí betónu odstránené. Po výrobe betónového tela vzoriek nasledovalo uloženie predpínacej jednotky do stredu vytvorenej dutiny. Predpínacie jednotky tvorili sedemdrôťové laná priemeru 15,7 mm, s charakteristickou pevnosťou 1 860 MPa a dĺžkou 1 500 mm. Laná boli uložené tak, aby na aktívnom konci pretŕčali 600 mm a na pasívnom 300 mm. Takýmto spôsobom sa vyrobilo dvanásť vzoriek, šesť vzoriek malo káblový kanálik z oceľovej korugovanej rúrky a šesť vzoriek bolo bez káblového kanálika.

Z týchto šesť vzoriek boli tri s lanami

opatrenými protikoróznou 20% olejovou emulziou. Vzorky opatrené touto emulziou boli označené ako „RM“ a „BRM“. Predpínacie lano bolo následne zainjektované cementovou maltou, vyrobenou podľa receptúry používanej pri injektáži predpínacích jednotiek dodatočne predpäťých prvkov.

Tretí typ vzoriek sa rozmerovo nelíšil od prvých dvoch typov. Rozdiel bol v absencii betónového tela a káblového kanálika. Predpínacie lano sa centrickejšie uložilo do plastovej rúry. V troch prípadoch bolo opatrené čerstvo nanesenou protikoróznou emulziou – typ vzorky „MM“, v troch prípadoch nanesenou olejovou emulziou týždeň vopred – „MMT“ a v troch prípadoch bolo bez protikorózneho prostriedku – typ vzorky „M“. Lano bolo následne zainjektované do plastovej rúry. Pričné rezy vzoriek sú na obr. 1.

VZORKY II. FÁZY PULL-OUT TESTOV

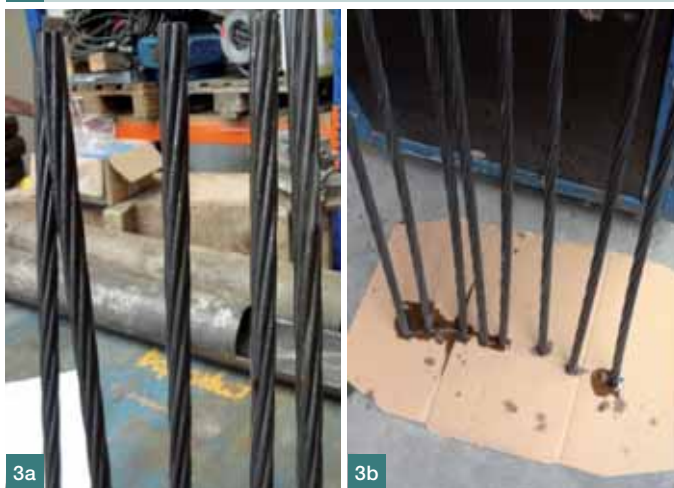
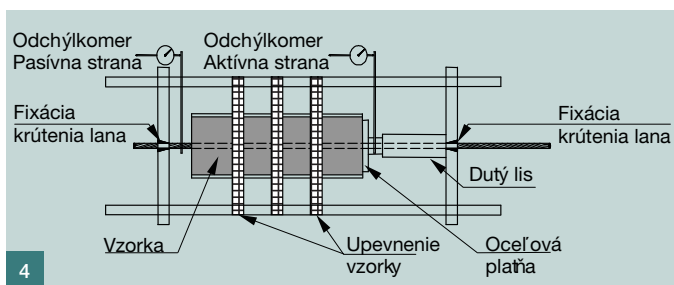
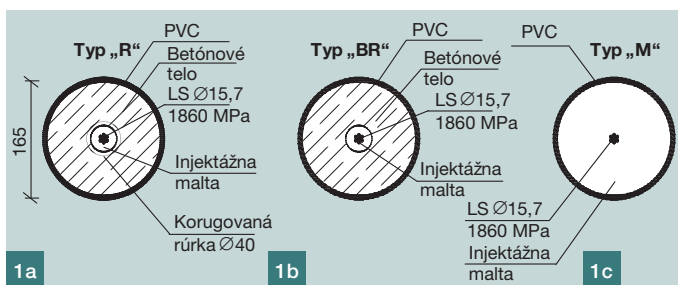
Merania a dosiahnuté výsledky I. fázy pull-out testov viedli k výrobe ďalších tridsiatich šiestich skúšobných telies. Vybraný bol typ vzoriek označovaných v I. fáze ako typ „R“.

Rozmery a zhotovením boli skúšobné telesá totožné s I. fázou testov. V II. fáze bola okrem olejovej emulzie aplikovaná aj tixotropná zlúčenina, používaná najmä ako protikorózna ochrana predpínacích jednotiek v mostných závesoch.

Z tridsiatich šiestich vyrobených vzoriek bolo v dvanástich prípadoch predpínacie lano opatrené olejovou emulziou, v dvanástich tixotropnou zlúčeninou a v posledných dvanástich vzorkách bolo lano bez protikorózných prostriedkov. Na obr. 2 sú znázornené vzorky pri ich tvrdnutí. Nakolko bol v tejto fáze iba jeden charakteristický pričný rez, vzorky boli značené ako typ „S“ (suché – bez protikoróznej ochrany), typ „O“ (olejová emulzia) a typ „G“ (tixotropná gélová zlúčenina).

PROTIKORÓZNE PROSTRIEDKY Z HLADISKA APLIKÁCIE

Po aplikácii protikorózných prostriedkov je nutné poukázať na stav povrchu



Obr. 1 Priečne rezy vzoriek, a) vzorka „R“ s korugovanou rúrkou, b) vzorka „BR“ bez korugovanej rúrky, c) vzorka „M“ s maltovým telom ■ Fig. 1 Specimen cross-sections a) specimen „R“ with corrugated steel duct, b) specimen „BR“ without the steel duct, c) specimen „M“ with grout body

Obr. 2 Skúšobné telesá typu „S“ pri dozrievaní ■ Fig. 2 Type „S“ testing specimens during hardening

Obr. 3 Protikorózný materiál nanesený na predpínacích jednotkách v čase pred ich injektážou, a) tixotropná zlúčenina, b) olejová emulzia ■ Fig. 3 Prestressing units before injection coated with anticorrosion agents, a) tixotropic compound, b) emulsifiable oil

Obr. 4 Schéma skúšobného zariadenia ■ Fig. 4 Scheme of the testing device

Obr. 5 a) Provizórna skúšobňa, b) skúšobná zostava, c) detail aktívnej strany, d) detail pasívnej strany skúšaného telesa ■ Fig. 5 a) Temporary testing room, b) testing device, c) active side detail, d) passive side detail

predpínacích jednotiek v čase pred ich zainjektovaním do skúšobných vzoriek. Oba protikorózne prostriedky boli nanášané na predpínacie jednotky náterom tri dni pred injektážou.

Tixotropná zlúčenina sa po aplikácii aj počas nej prejavila vynikajúcou príľnavosťou k predpínacej jednotke. Počas nasledujúcich troch dní nebolo pozorované žiadne odlúčenie tohto materiálu od predpínacej jednotky.

Olejová emulzia sa vďaka svojej viskozite prejavovala odkvapkávaním od predpínacej jednotky počas celej doby od jej naniesenia až po injektáž.

Odlučiteľnosť oboch materiálov od predpínacej jednotky je znázornená na obr. 3.

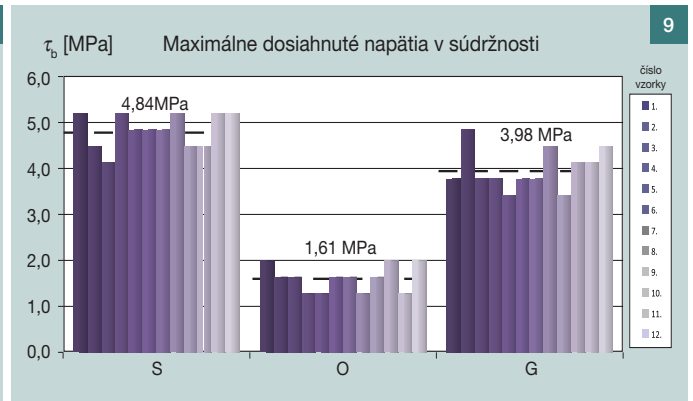
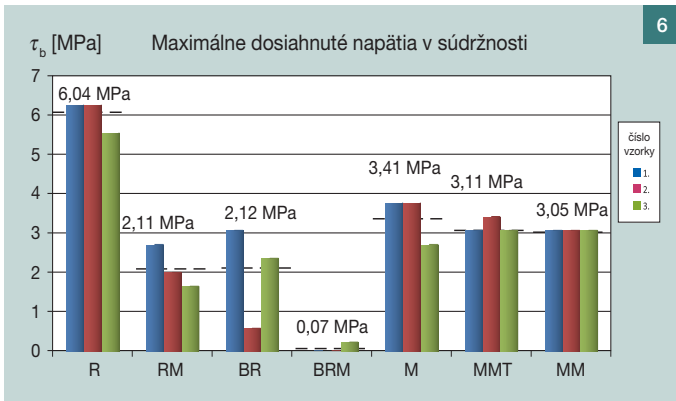
SKÚŠOBNÉ ZARIADENIE

Päťdesiat sedem skúšobných vzoriek bolo odskúšaných na zariadení zostrojenom pre tento účel (obr. 4). Zariadenie pozostávalo z oceľového rámu, ku ktorému bola upevnená skúšobná vzorka v horizontálnej polohe. Na aktívnej strane bolo predpínacie lano vyťahované zo vzorky pomocou kalibrovanej dutého lisu.

Pri ťahových skúškach dochádzalo

k vykrúcaniu lana zo vzorky. Tento jav bol evidentný najmä pri vzorkách so zníženou súdržnosťou vplyvom protikorózných prostriedkov. Z tohto dôvodu boli na aktívnej aj pasívnej strane nainštalované špeciálne oceľové prvky zabraňujúce krúteniu lana.

Nakoľko celé zariadenie bolo umiestnené v exteriéri, bola okolo neho postavená provizórna konštrukcia (obr. 5). Pri skúšaní bol tlak v sústave meraný pomocou manometra upevneného na agregát. Okrem tlaku boli merané posuny lana na aktívnej i pasívnej strane, rovnako ako aj posuny celej skúšobnej vzor-



Obr. 6 Maximálne dosiahnuté napätia v súdržnosti a priemerné hodnoty v závislosti od typu vzorky v I. fáze | Fig. 6 Maximal and average bond strengths of various types of specimens reached from the 1st phase

Obr. 7 Rozvinuté radiálne trhlinky v okolí lana pri tvrdnutí malty na vzorkách typu „BRM“ | Fig. 7 Radial cracks on the “BRM” type specimen developed during grout hardening

Obr. 8 Typický spôsob porušenia vzoriek typu „M“ | Fig. 8 Typical failure mode of the “M” type specimen

Obr. 9 Maximálne dosiahnuté napätia v súdržnosti a priemerné hodnoty v závislosti od typu vzorky v II. fáze | Fig. 9 Maximal and average bond strengths of various types of specimens reached from the 2nd phase

Obr. 10 Porušenie vzorky typu „S“ vytrhnutím maltového polkužeľa v okolí predpínacieho lana | Fig. 10 Typical failure mode of the “S” type specimen with pulled out grout half cone



ky pri príslušnej sile vyvodenej agregátom. Posuny lana a tela vzorky sa merali pomocou analógových odchýlkomerov s citlivosťou 0,01 mm.

VYHODNOTENIE I. FÁZY TESTOV

Prvá fáza odhalila niekoľko zaujímavých javov.

V prvom rade treba poukázať na rozdiely v maximálnych dosiahnutých napätiach v súdržnosti τ_b v závislosti od typu vzorky a protikorózneho opätrenia (obr. 6). Napätia v súdržnosti τ_b boli získané na základe sily pôsobiacej na predpínaciu jednotku, vyvodenej

dutým lisom a podelenej ekvivalentným súdržným povrchom predpínacej jednotky, v tomto prípade 0,026 m².

Z grafu (obr. 6) je zrejmé, že najvyššia súdržnosť lana s okolitou maltou bola dosiahnutá na skúšobných vzorkách s korugovanou rúrkou s označením „R“. Lano sa vytrhlo zo vzorky pri pomernej sile 157 kN, čo zodpovedá napätiu v súdržnosti 6,04 MPa. Pri tomto type vzoriek bolo lano, aj po porušení injektážnej malty vytrhnutím kužeľa v okolí výstuže, schopné prenášať narastajúce zaťaženie. Ťahová sila v lane bola schopná narásť do takej

miery, kým nedošlo k porušeniu betónového tela valca. Príbuzné vzorky s lanom opatreným protikoróznou emulziou s označením „RM“ dosiahli napätie v súdržnosti 2,11 MPa, čo je približne 35 % z nenamazanej vzorky.

Vzorky neobsahujúce korugovanú rúrkou, označené ako „BR“, dosahovali výrazne nižšiu hodnotu v súdržnosti oproti vzorkám typu „R“. Vzorky opatrené emulziou, označené ako „BRM“, boli takmer nemerateľné a predpínacie lano sa vyťahovalo bez najmenšieho odporu. Jav nastal zrejme kvôli poréznomu betónovému povrchu na hra-

Tab. 1 Hodnoty súčiniteľu povrchu η_{p2} (STN EN 1992-1-1) sedem-drôtového lana pre rôzne typy protikorózneho ochrany ■

Tab. 1 Surface coefficient values for seven wire strand coated with various anticorrosion agents (STN EN 1992-1-1)

	Suché	Tixotropná zľúčenina	Olejová emulzia
II. fáza pull-out testov	1,10	0,90	0,37

Obr. 11 Závislosť napätia v súdržnosti τ_b a poklzu predpínacej jednotky δ pre vzorky typu „S“ ■ Fig. 11 Bond – slip relationship for the “S” type specimens

Obr. 12 Závislosť napätia v súdržnosti τ_b a poklzu predpínacej jednotky δ pre vzorky typu „O“ ■ Fig. 12 Bond – slip relationship for the “O” type specimens

Obr. 13 Závislosť napätia v súdržnosti τ_b a poklzu predpínacej jednotky δ pre vzorky typu „G“ ■ Fig. 13 Bond – slip relationship for the “G” type specimens

ne dutiny, t.j. jemné častice injektážnej malty sa vsiakli do okolitého prostredia, a tým pri jej napučívaní nevznikol požadovaný efekt ovinutia predpínacej jednotky.

V prípade vzoriek opatrených emulziou bol tento fakt ešte umocnený tým, že v škárach medzi jednotlivými drôťmi ostali zvyšky oleja, ktorý svojimi fyzikálnymi vlastnosťami definitívne zabránil preniknutiu malty do týchto oblastí. Táto skutočnosť bola evidentná už pri pohľade na tento typ vzorky. V okolí výstuže sa rozvinuli radiálne trhliny už pri samotnom tvrdnutí malty (obr. 7). Vlhkostný obrys znázorňuje prenikanie vody z tuhnucej malty do už zatvrdnutého betónového telesa. Z týchto príčin sú hodnoty sily na medzi porušenia v súdržnosti rádovo menšie, prakticky nemerateľné. Nastala úplná strata súdržnosti už pri výrobe vzorky.

Pri vzorkách typu „M“, „MM“ a „MMT“, ktorých telo bolo zhotovené z injektážnej malty, bol preukázaný minimálny rozdiel v alternatíve s protikoróznou emulziou a bez nej. Taktiež vplyv časového rozdielu medzi namaním predpínacích jednotiek pred injektážou nebol preukázaný. Priemerná hodnota napätia v súdržnosti bola pre čerstvo namazaný typ „MM“ 3,05 MPa a pre skoršie mazanie typ „MMT“ 3,11 MPa. Vzorky bez protikorózneho emulzie značené ako „M“ dosiahli priemernú hodnotu napätia v súdržnosti 3,41 MPa.

Treba však podotknúť fakt, že už po niekoľkých minútach od uloženia injektážnej malty do rúry bolo viditeľné výrazné napučanie tohto materiálu. Možno tak usúdiť, že materiál ovinul výstuž a prenikol aj do škár medzi jednotlivými drôťmi predpínacieho lana do takej miery, že bol badateľný len minimálny rozdiel v napätiach v súdrž-

nosti medzi predpínacími jednotkami opatrenými protikoróznou emulziou a suchými predpínacími jednotkami. Typický spôsob porušenia vzorky typu „M“ je znázornený na obr. 8.

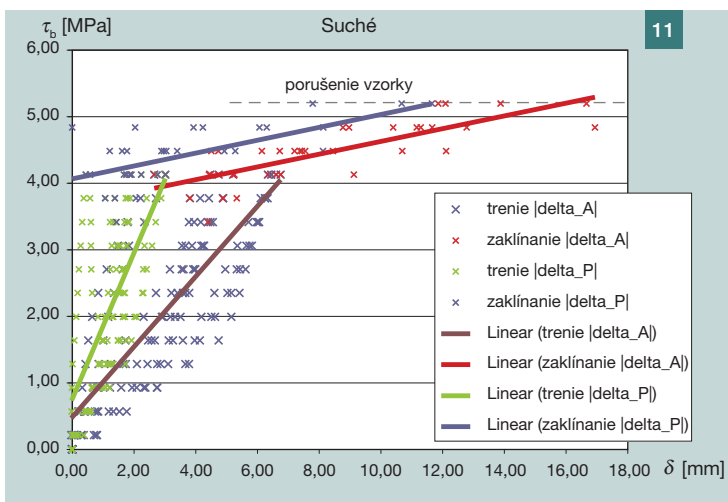
VYHODNOTENIE II. FÁZY TESTOV

Výsledky v II. fáze pull-out testov poskytli ucelenejší obraz o vplyve protikorózných prostriedkov na súdržnosť, nakoľko sa testoval štatisticky významnejší súbor vzoriek (obr. 9).

Najväčšia súdržnosť medzi lanom a okolitou maltou bola dosiahnutá pri vzorkách bez protikorózných prostriedkov označených ako „S“, kedy lano bolo vytrhnuté priemernou silou 126 kN, ktorá zodpovedá pri súdržnej ploche lana 0,026 m² napätiu 4,84 MPa. Vzorky opatrené emulziou, označené ako „O“, dosahovali v priemere napätie v súdržnosti 1,61 MPa, čo predstavuje približne 33 % pevnosti suchých vzoriek. Vzorky natreté tixotropnou zľúčeninou, označené ako „G“, dosiahli v priemere 3,98 MPa, to znamená približne 83 % pevnosti vzoriek bez ochranných prostriedkov.

Vzorky s lanami natretými rovnakou olejovou emulziou ako v I. fáze testov, vykazovali nižšiu odolnosť v súdržnosti už v prvých zaťažovacích krokoch skúšky, čo sa prejavovalo výraznejšími poklzmí lana.

Porušenie vzoriek v II. fáze sa začínať prejavovať rozvojom radiálnych trhlín v injektážnej malte pri lane, smerujúcich k vnútornému okraju káblového kanálka. Tieto trhlinky spôsobovali vytrhnutie maltového polkužela okolo lana na aktívnej strane. Nesymetrický spôsob porušenia je zapríčinený počiatočným zakrivením predpínacej jednotky v čase injektáže. Typický spôsob porušenia suchej vzorky je znázornený na obr. 10.



ZÁVISLOSŤ NAPÄTIA V SÚDRŽNOSTI A POKLZU PREDPÍNACEJ JEDNOTKY

Ďalšou sledovanou veličinou okrem pevnosti v súdržnosti sú premiestnenia na aktívnej a pasívnej strane.

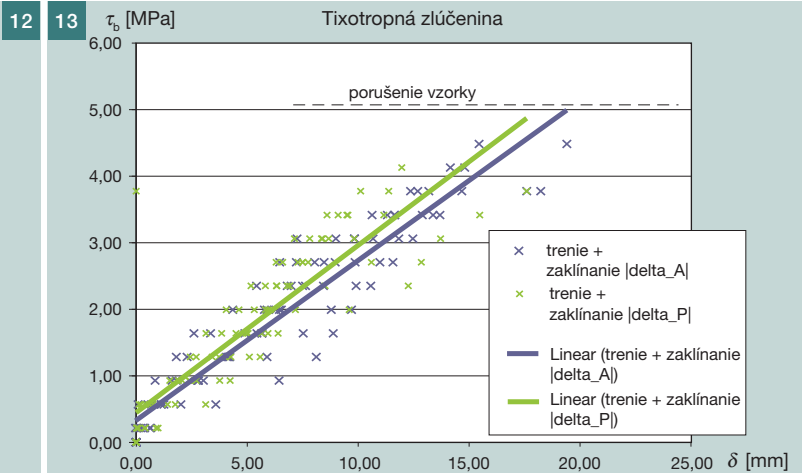
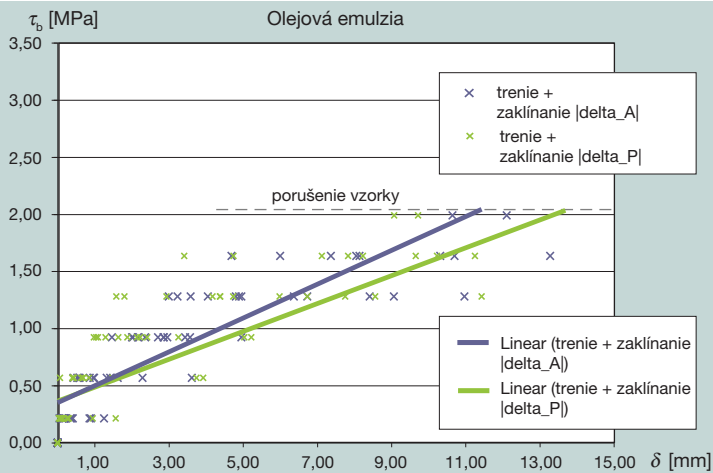
Namerané premiestnenia z II. fázy pull-out testov boli zosumarizované trendovými čiarami (trendy δ_A a δ_P) pre aktívnu aj pasívnu stranu všetkých troch typov vzoriek (obr. 11 až 13).

Priebeh premiestnení na vzorkách bez ochranných prostriedkov sa dá opísať ako bilinéarny. Po porušení adhézie, ktoré nastáva pri veľmi malom poklze predpínacej jednotky, sa aktívne vyvíja trenie. Prenášaná ťahová sila pred stratou adhézie bola veľmi nízka v porovnaní s dosahovanými hodnotami pevnosti v súdržnosti. Prvá časť bilinéarneho diagramu predstavuje trenie spôsobené radiálnym tlakovým namáhaním predpínacej jednotky, ktoré je vyvodzované zväčšovaním objemu injektážnej malty počas jej tvrdnutia. Po dosiahnutí určitého povytiahnutia sa lano svojim špirálovým tvarom zaklíni do okolitej malty. Následne nastane nárast napätia v súdržnosti τ_b , avšak pri evidentne väčších deformáciách – jav je znázornený druhou, plochejšou vetvou bilinéarneho diagramu.

Priebeh povytiahnutia lana pri vzorkách opatrených protikoróznymi prostriedkami sa dá opísať ako monolínearny, nakoľko premiestnenia na lane konštantne rástli s vnášanou silou v každom zaťažovacom kroku.

SÚČINITEL PVRCHU

Na základe úvahy o rovnováhe síl bolo možné určiť súčiniteľ zohľadňujúci typ výstuže a situáciu v súdržnosti pri kotvení („súčiniteľ povrchu“). Súči-



niteľ je určený ako podiel maximálneho dosiahnutého priemerného napätia v súdržnosti τ_b a nameranej strednej ťahovej pevnosti f_{ctm} injektážnej malty. Určil sa za predpokladu uváženia ideálnych podmienok z hľadiska súdržnosti pri zhotovovaní skúšobných vzoriek. Dosiahnuté hodnoty súčiniteľa η_{p2} sú spracované v tab. 1.1. Podľa STN EN 1992-1 je hodnota súčiniteľa η_{p2} pre suché sedemdrôtové predpínacie lano stanovená na 1,2.

ZÁVERY

Experimentálny program zameraný na vplyv protikorózných olejových emulzií na súdržnosť predpínacích jednotiek preukázal zníženie súdržnosti týmito prostriedkami.

V prípade pull-out testov bol zaznamenaný 20 až 66% pokles odolnosti v súdržnosti predpínacích jednotiek v závislosti od použitého protikorózneho prostriedku. V prípade olejovej emulzie je možné úplne vylúčiť adhéziu z celkovej súdržnosti. Sila z lana sa v tomto prípade prenáša iba trením a zaklínáním. Skutočná úroveň napätí v súdržnosti naznačuje, že znížená pevnosť v súdržnosti takýchto predpínacích jednotiek by pri dosiahnutí medznej odolnosti predpätej konštrukcie nemusela byť dostatočná. To môže mať za následok krehkejší charakter porušenia prvku.

Okrem výrazného vplyvu protikorózných prostriedkov na báze oleja sa ukázal aj zásadný vplyv prítomnosti korugovanej rúrky, resp. káblového kanálika. Injektážna malta je len v tesnom káblom kanáliku schopná vyvinúť dostatočný prítlačný efekt na zabezpečenie plnej súdržnosti predpínacej jednotky. V prípade absencie kanálika prenikajú častice čerstvej injektážnej malty do už zatvrdnutého okolitého

betónu. Tento fakt môže mať zásadný vplyv na kvalitu injektážneho materiálu aj na samotné prevedenie injektážnych prác.

V prípade používania protikorózných ochranných prostriedkov je tiež dôležitá ich vlastnosť príľnavosti k predpínacím jednotkám. Olejové emulzie sa vyznačujú vysokou viskozitou. V prípade ich neodstránenia pred uložením predpínacích jednotiek do konštrukcie môže dochádzať k ich odlučovaniu a následnému hromadeniu v záhyboch kanálikov. Z tohto dôvodu je výhodnejšie používať prostriedky na gélovej báze, ktoré preukázali aj výrazne menší vplyv na súdržnosť predpínacích jednotiek.

Pull-out testy v malej mierke sa prejavili ako nie príliš vhodný spôsob testovania súdržnosti predpínacích jednotiek opatrených protikoróznym olejovým prostriedkom. V niektorých prípadoch sa prejavil veľký rozptyl v nameraných výsledkoch. Taktiež sa pri tomto type testov prejavilo zásadné zníženie súdržnosti, čo by mohlo viesť k mylným záverom a odporúčaniam spojených s používaním olejových emulzií. Okrem toho je pri pull-out testoch možné očakávať vedľajšie javy ako efekt vykrúcania lana, čo môže skresľovať namerané výsledky.

Z vyššie uvedených príčin bola realizovaná tretia fáza experimentálneho programu na sledovanie vplyvu súdržnosti na dodatočne predpätých nosníkoch, ktorej výsledky budú uverejnené v niektorom z ďalších čísel v roku 2015.

Príspevok vznikol s finančnou pomocou Agentúry na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0442-12 a s pomocou firmy Doprastav, ktorá finančne podporila a zaistila výrobu vzoriek.

Literatúra:

- [1] ASTM A981: 2002, Standard Test Method for Evaluating Bond Strength for 15.2 mm (0.6 in.) Diameter Prestressing Steel Strand, Grade 270, Uncoated, Used in Prestressed Ground Anchors
- [2] Bond of reinforcement in concrete: Chapter 6. Bond of prestressing tendons, 2000, *fib Bulletin 10, fib*, p. 270–311, ISBN 2-88394-050-9
- [3] Laco J. 2014: Súdržnosť predpínacích jednotiek opatrených protikoróznou ochranou: dizertačná práca, Bratislava: STU v Bratislave
- [4] Lüthi T. et al., 2005: Factors affecting bond and friction losses in multistrand post-tensioning tendons including the effect of emulsifiable oils, Austin: CTR at The University of Texas. FHWA/TX-05/ 0-4562-1
- [5] Marti P. et al., 2008: Temporary corrosion protection and bond of prestressing steel, In: *ACI Structural Journal*, Vol. 105, No. 1, p. 51–59, ISSN 0889-3241
- [6] Salcedo Rueda E. et al., 2004: Bond and corrosion studies of emulsifiable oils used for corrosion protection in post-tensioned tendons, In: *PTI Journal*, Vol. 22, No. 1, ISSN 1544-2314

Ing. Ján Laco, PhD.

e-mail: jl.beton@gmail.com



Ing. Viktor Borzovič, PhD.

e-mail: viktor.borzovic@stuba.sk



prof. Ing. Jaroslav Halvonik, PhD.

e-mail: jaroslav.halvonik@stuba.sk

všichni: Stavebná fakulta STU
v Bratislave

Katedra betónových
konštrukcií a mostov
Radlinského 11, 813 68 Bratislava

Text článku byl posouzen odborným lektorem.