TRVANLIVOSŤ PREDPÄTIA - ZÁRUKA SPOĽAHLIVOSTI PREDPÄ TÝCH BETÓNOVÝCH MOSTOV

Milan Chandoga [1)], Ladislav Čerňanský [2)]

Podobne ako vo vyspelých betonárskych krajinách i u nás po mnoho rokov pretrvával názor, že betónové konštrukcie, a najmä predpäté, sú trvanlivé a potrebujú minimálnu údržbu. Ak sústredíme našu pozornosť len na betónové mosty, musíme konštatovať, že toto tvrdenie bolo za ostatné roky značne naštrbené. Ukázalo sa, že za určitých podmienok väčšina betónových mostov, bez ohľadu na ich vek, trpí problémom nízkej trvanlivosti. Najčastejšou príčinou porúch betónových mostov je korózia mäkkej a predpínacej výstuže. Pri predpätých mostoch ide vždy o vážne ohrozenie únosnosti konštrukcie spojené s rizikom neočakávanej havárie.

V 80. a 90. rokoch sa prejavili výraznejšie účinky dlhodobého pôsobenia korozívneho prostredia, najmä chloridov z rozmrazovacích posypových solí, resp. morských vôd, na predpäté mosty vybudované v 60.- 70. rokoch. Havárie niekoľkých mostov v tak vyspelých krajinách ako sú Veľká Británia, Belgicko, USA viedli mostných odborníkov k radikálnemu prehodnoteniu prístupu zabezpečenia trvanlivosti predpätých mostov. Prejavilo sa to hlavne v ďalšom technickom zdokonaľovaní materiálov, prvkov a technológií realizácie predpätia, ale i v hľadaní nových koncepcií pri návrhu mostov.

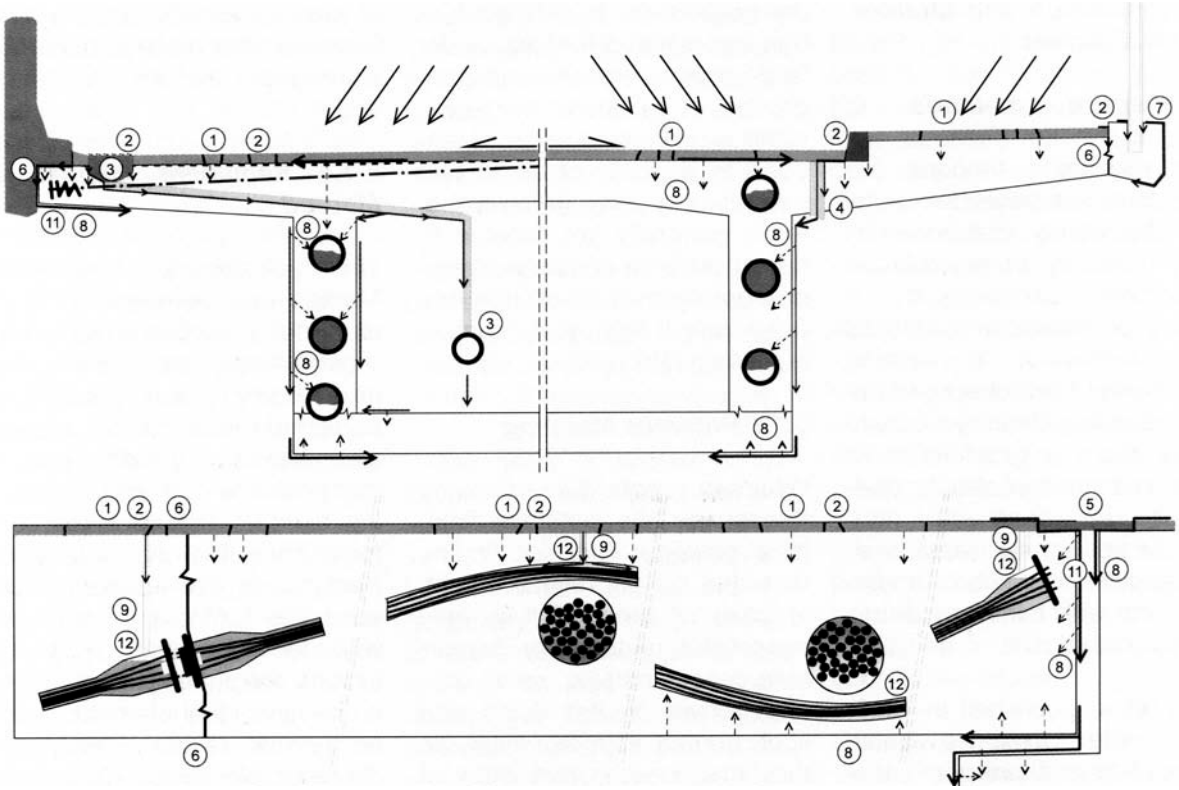
Koncepcia viacbariérovej ochrany predpínacej výstuže

Po mnoho rokov sa konštatovalo, že na spoľahlivú ochranu predpínacej výstuže proti korózii úplne postačuje injektážna malta vyrobená z portlandského cementu a vody. Až 90.- te roky a už spomínané problémy s dodatočne predpätými mostami vo Veľkej Británii naštartovali prehodnotenie prístupu k tejto problematike. Dnes hovoríme, že mosty treba navrhovať tak, aby bola zabezpečená viacbariérová antikorózna ochrana predpínacej výstuže /1/,/2/. V zmysle tejto koncepcie (obr.1) prvou bariérou by malo byť spoľahlivé vyspádovanie nosnej konštrukcie, ktoré odvedie povrchové vody veľmi rýchle do odvodňovačov. Druhou bariérou je kvalitná celoplošná hydroizolácia. Treťou bariérou je krycia vrstva hutného betónu. Štvrtou bariérou je vlastný plášť kanálika (hadica, resp. rúra), ktorý neslúži len k vytvoreniu dutiny v betóne, ale sa od neho vyžaduje vodotesnosť po celej dĺžke kábla. Piatou bariérou, pri jednoduchej predpínacej výstuži primárnou, je injektážna malta. Okrem tejto funkcie injektážna malta zabezpečuje aj spolupôsobenie predpätia s betónovou konštrukciou. Poslednou bariérou je primárna anitkorózna ochrana predpínacej výstuže pri jej výrobe povlakom zinku, mede, epoxidovej živice, resp. vysokopevnostného polyetylénu. Takto upravená predpínacia výstuž nekoroduje ani pri dlhodobom skladovaní, resp. pri oddialenej injektáži. Vzhľadom na vyššiu cenu sa používa najmä v konštrukcii vonkajšieho predpätia a v závesoch zavesených mostov, ale aj v bežnej konštrukcii súdržných káblov, ak na to investor má prostriedky.

1) Doc., Ing., PhD., Katedra betónových konštrukcií a mostov SvF STU, 841 04 Bratislava
2) Ing., PROJSTAR PK s.r.o., Nad Dunajom 50, 841 04 Bratislava

Kľúčovú úlohu v „bariérovej“ ochrane majú prvé dve položky. Ich filozofia spočíva v nasledovnom:

- spádovanie odvodnenia mosta má zabezpečiť rýchle odvedenie zrážok, ale najmä slaných vôd z topiaceho sa snehu a ľadu
- hydroizolácia musí vytvoriť celoplošnú vodonepriepustnú membránu, ktorej spoľahlivosť je zaručená aj v kritických detailoch pripojenia na odvodňovače a dilatačné závery.



Obr. 1 Faktory a riziká ovplyvňujúce koróziu predpínacích lán

Problémy s poddimenzovaním a údržbou odvodnenia, ako aj s viacročným experimentovaním s hydroizoláciou mostov na Slovensku sú všeobecne známe. Menšími, resp. väčšími opravami prešli už skoro všetky významnejšie staršie mosty a všade tam, kde bola narušená hydroizolácia mosta, došlo i k vážnemu korozívnemu napadnutiu mäkkej a predpínacej výstuže. Naopak, ak funkcia hydroizolácie nebola narušená, bola na nedokonale zainjektovanej predpínacej výstuži zaznamenaná len slabá, alebo dokonca žiadna korózia.
K týmto záverom sa dopracovali aj vo Veľkej Británii, kde sa v 90. rokoch vykonal rozsiahly monitoring predpätia na 447 mostoch . Silná korózia bola zaznamenaná len na 10% mostov a zanedbateľná na 42%. Tá bola spojená s nedokonale zainjektovanými káblami a uzavretými vzduchovými dutinami, do ktorých na šťastie neprenikala voda, takže korozívny proces sa plne nerozvinul.

Najväčší rozsah korózie predpínacej výstuže bol u nás zaznamenaný skoro na všetkých mostoch so živičnou hydroizoláciou. Radikálne sa to prejavilo najmä pri segmentových mostoch. Táto československá móda 60.-80. rokov sa podpísala aj pod havarijné stavy viacerých slovenských mostov (napr. Podtureň, Belá). Živičné izolácie veľmi „efektívne“ riešili problém nerovnosti povrchu hornej dosky komory, z ktorej neraz trčali kotevné dosky, montážne železá a vyrovnávajúce plechy (obr.2). Ukázalo sa, že vodotesnosť tejto izolácie je ilúziou, ktorá trvá len niekoľko mesiacov. Pretože nebolo možné uplatniť jej celoplošnosť, k prvému zatekaniu nosnej konštrukcie dochádzalo na rozhraní vozovky a chodníkov a v detailoch napojenia odvodňovačova mostných záverov (obr.3). Pokračujúca degradácia hydroizolačnej vrstvy umožnila zatekanie nedokonale zlepených škár segmentov (obr.4), ktorými prechádza značné množstvo predpínacej výstuže.

Voda sa postupne dostala aj do nezainjektovaných káblových kanálikov a putovala až ku koncovému kotveniu káblov (most Podtureň). Vzhľadom na veľký rozsah a obmedzený prístup nebolo možné spoľahlivo stanoviť rozsah a stupeň degradácie injektovaného predpätia. Preto aj návrh množstva sanačného vonkajšieho predpätia nesie určité riziká. V prípade estakády Podtureň bola stanovená účinnosť starého predpätia na základe výsledkov prognostického výskumu /3/. Ďalšie statické chovanie sa mosta je monitorované ME snímačmi sily na zabudovanom vonkajšom predpätí. V prípade ďalšej degradácie súdržného predpätia bude zaznamenaný prírastok sily vo vonkajších kábloch /4/.

Obr. 2 Styk segmentov prefabrikovaného mosta

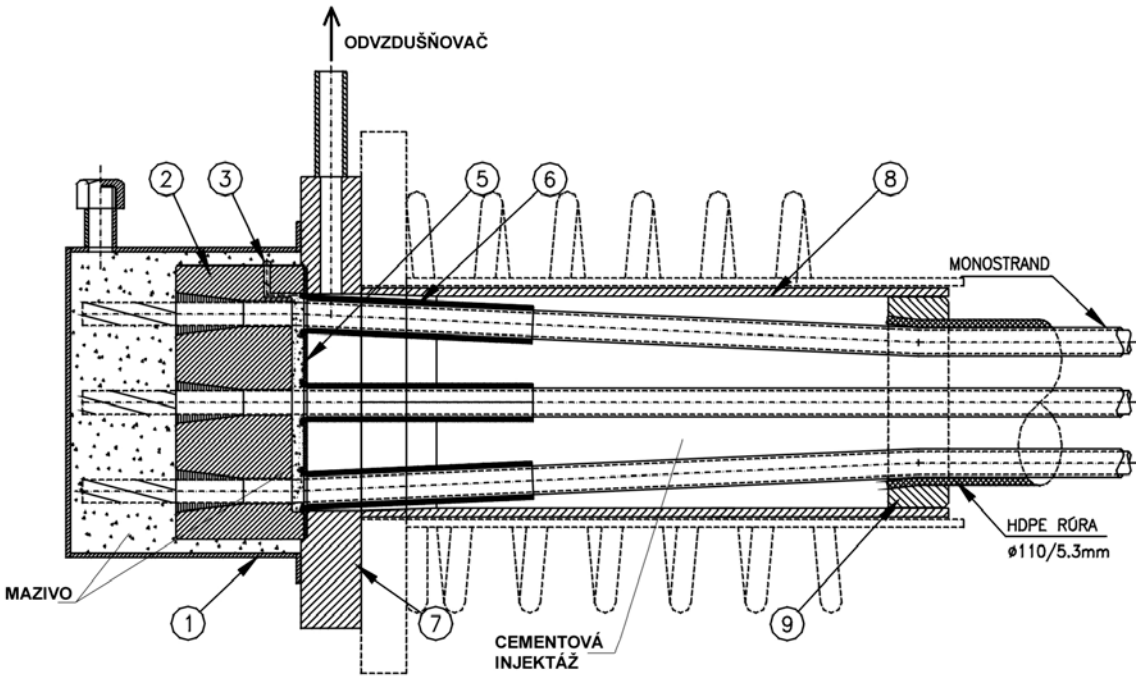
Obr. 3 Pripojenie chodníka k segmentom

Obr. 4 Zatekanie kontaktných škár segmentového mosta Belá

Vytváranie priestoru pre rezervné predpätie

Nedávny havarijný stav vyhlásený na ľavom moste estakády Belá je príkladom, ktorý najlepšie dokumentuje radikálny korozívny proces opísaný v predchádzajúcej stati. Dôvodom vyhlásenia havarijného stavu bolo pretrhnutie dvoch z celkového množstva 8 vonkajších káblov v pravej komore ľavého mosta. Vonkajšie káble nedokonalej konštrukcie, vystavené sústavnému zatekaniu korozívnych vôd cez škáry segmentov, ukončili svoju životnosť po cca 10 rokoch (obr.5). Tu sa ukázala ďalšia prednosť vonkajšieho predpätia – vymeniteľnosť. Nakoľko značnou koróziou boli napadnuté aj ďalšie dva káble, vymenili sa všetky 4 káble pri ľavom tráme komory.
Nové káble s viacnásobnou antikoróznou ochranou predpínacích lán a nová kocepcia kotvenia (obr. 6a) sú zárukou, že i pri súčasnom stave mostovky a hydroizolácie vydržia takpovediac večnosť (obr.6b).

Obr. 5 Havária vonkajších káblov, most Belá



1. OCHRANNÝ KRYT KOTVENIA
2. KOTEVNÁ OBJÍMKA PROJSTAR CH–13/VKB
3. INJEKTÁŽNA MAZNIČKA
4. PRÍTLAČNÝ TANIER S RÚRKAMI A PRUŽINKAMI (LEN PRI PASÍVNYCH KOTVÁCH)
5. SEPARAČNÁ VLOŽKA
6. PE–KONEKTOR
7. ROZNÁŠACIA DOSKA
8. NÁTRUBOK
9. DEVIAČNÝ PRSTENEC

} ROZNÁŠACIA PODLOŽKA PROJSTAR RP–VKB

Obr. 6a Kotva PROJSTAR CH-13/VKB

Obr. 6b. Koncové kotvenie a fixátory geometrie vonkajších káblov – most Belá

Nová generácia segmentových mostov (fy Doprastav, a.s.) z 90. rokov je koncepčne postavená na podstatne vyššiu kvalitatívnu úroveň. Uplatnením vonkajšieho predpätia sa zvýšila kvalita výroba vlastného segmentu a najmä povrchu mostovkovej dosky, na ktorú je možné priamo lepiť hydroizolačné pásy. Konštrukcia vonkajších káblov s dvojnásobnou anikoróznou ochranou zabezpečuje dlhodobú životnosť predpätia a v prípade potreby i jeho vymeniteľnosť. Rezervné otvory v deviátoroch a priečnikoch umožňujú ďalšie zosilovanie mosta, resp. bezproblémovú výmenu vonkajšieho predpätia.

Myslieť na budúcnosť mosta znamená, že už pri návrhu mosta treba riešiť koncepcie nosnej konštrukcie a predpätie tak, aby vznikol priestor pre neskoršie umiestnenie vonkajších káblov a otvorov v priečniku, alebo ešte lepšie, otvory dopredu vytvoriť. Objektívna potreba tohto prístupu platí i pri súčasných mostoch. Na viacerých estakádach je priebežná predpínacia výstuž po dlhšiu dobu vystavená poveternosti a značne skorodovaná. Nehovoriac už o spoľahlivosti pasívneho kotvenia, ktoré je len ťažko vymeniteľné. Ak nedokážeme čakajúcu predpínaciu výstuž ochrániť proti korózii a tak ako to požadujú TP zainjektovať v požadovanom časovom termíne, je výhoda a požiadavka priebežných káblov iluzórna. V našich klimatických podmienkach a pri dnešnom systéme financovania výstavby diaľníc dochádza zákonite k prerušeniu výstavby, ktoré niekedy trvá aj 2 – 3 roky.

Výstrahou nech sú problémy s niektorými estakádnymi mostami vo Sverepci. Predpínacia výstuž tu čakala na svoju aktiváciu 2 až 3 roky (obr.7, 8) a pri predpínaní bolo potrebné vyvinúť veľa úsilia, aby nedošlo k roztrhnutiu väčšieho počtu predpínacích lán.

Obr. 7. Čakajúca predpínacia výstuž, Sverepec

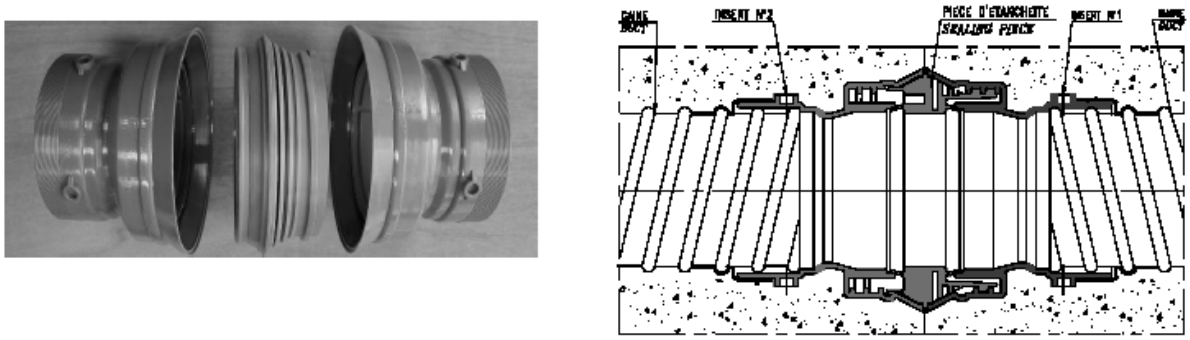
Obr. 8 Spojkové kotvenie káblov Sverepec

Obr.9 Upravený napínací lis PAUL TENSA s monitorovacím blokom PROJSTAR PMSJ13

Problém monitoringu eventuálneho pretrhnutia drôtu, lana, vo viaclanovom kábli sa podarilo veľmi efektívne vyriešiť úpravou predpínacieho lisu PAUL TENSA 3000kN. Firma PROJSTAR PK s.r.o. vyvinula špeciálny kotevný blok lisu, v ktorom je uložených 13 EM snímačov (obr.9). Systém umožňuje priebežný monitoring predpínacích síl v každom lane kábla a v prípade pretrhnutia drôtu, alebo dokonca lana, môže predpínací personál silu ihneď upraviť, aby nedošlo k preťaženiu kábla /5/.

Injektáž ako posledná bariéra proti korózii predpínacej výstuže

V koncepcii viacbariérovej ochrany predpínacej výstuže treťou bariérou je krycia vrstva hutného betónu. V súčasnosti je problém kvality betónu riešený povinnou certifikáciou výrobcu betónu. Zlepšila sa aj kvalita finalizácie povrchu a uplatňujú sa pečatiace vrstvy. Kvalita škár segmentových konštrukcií sa podstatne zlepšila a proti zatekaniu kanálikov v škárach segmentov je možné používať aj špeciálne polyetylénové spojky káblových kanálikov LIASEAL (obr.10).



Obr.10 Polyetylénová spojka LIASEAL

Štvrtou bariérou je vlastný plášť káblového kanálika (hadica, resp. rúra z ocele, resp. polyetylénu), ktorý neslúži len k vytvoreniu dutiny v betóne, ale sa od neho vyžaduje vodotesnosť po celej dĺžke kábla.

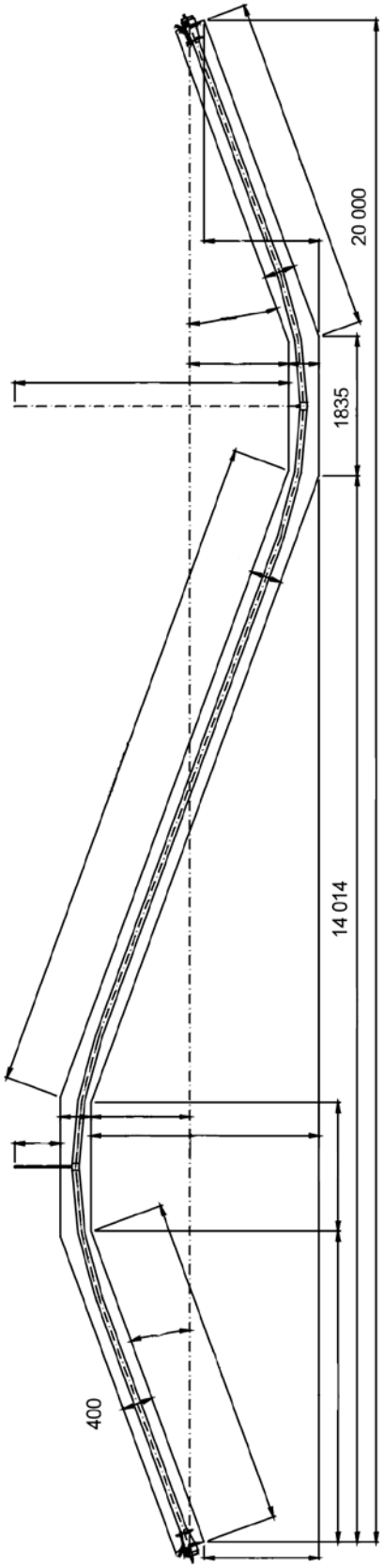
Injektáž, ako posledná operácia pri realizácii predpätia na stavbe, sa veľakrát chápe ako jednoduché miešanie cementu a vody a jej následné tlačenie do kanálika a preto túto „špinavú“ prácu častokrát robil ktokoľvek a akokoľvek. Až nedávne poznatky z prieskumu kvality injektáže mostov a výsledky experimentálneho výskumu zmenili pohľad na injektáž. Dnes už nikto nepochybuje, že ide o komplexnú a vysoko odbornú činnosť od prípravy vhodnej receptúry, až po kvalitné prevedenie na stavbe. Na výrobu i spracovanie vhodnej injektážnej malty sa ponúka celý rad receptúr s patričnou „chémiou“ a špičkových injektážnych zariadení. Maltu možno namiešať in-situ z komponentov, alebo je dopredu balená aj s prísadami.

Najvýznamnejšiu funkciu v celom procese stále zohráva človek, jeho vzťah k práci a zodpovednosť. Táto práca preto môže byť zverená len dobre vyškoleným pracovníkom, ktorí si uvedomujú následky prípadného nezodpovedného konania.

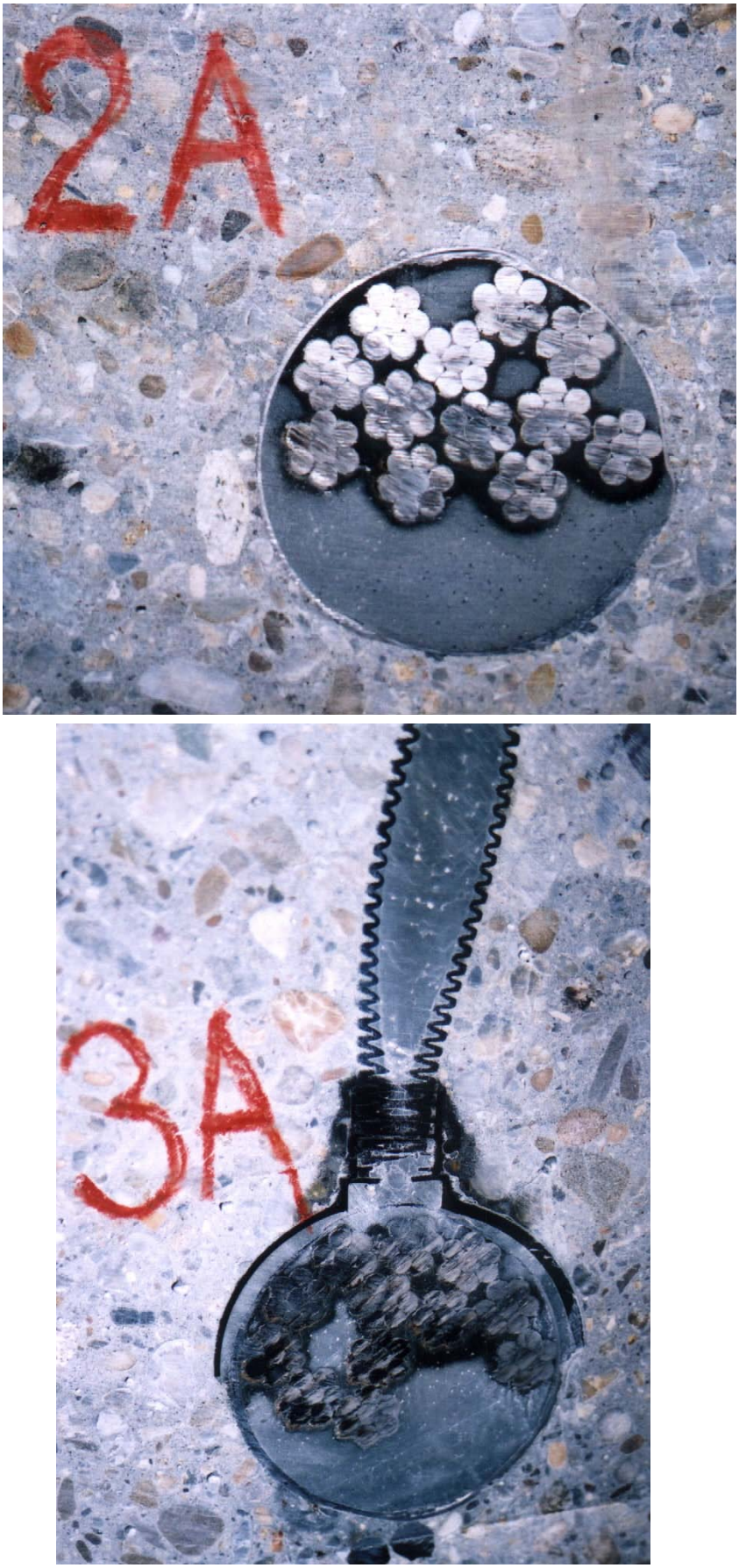
Medzi základné vlastnosti injektážnej malty patria spracovateľnosť, objemová stálosť, odlučnosť vody, pevnosť a mrazuvzdornosť.. Na injektáž možno použiť len certifikované malty, ktoré vyhoveli preukazným skúškam v akreditovaných laboratóriách.

Okrem týchto skúšok sa dnes vo viacerých štátoch požadujú aj preukazné skúšky injektovateľnosti káblového systému. Vzorka kábla opatrená koncovými kotvami, resp. spojkami, simuluje skutočný geometrický tvar kábla (obr. 11). Certifikovaná osoba musí preukázať, že pre daný predpínací systém a injektážne zariadenie je schopná s certifikovanou

injektážnou maltou dokonale zainjektovať skúšobný kábel bez vzduchových dutín v ktorejkoľvek jeho časti.

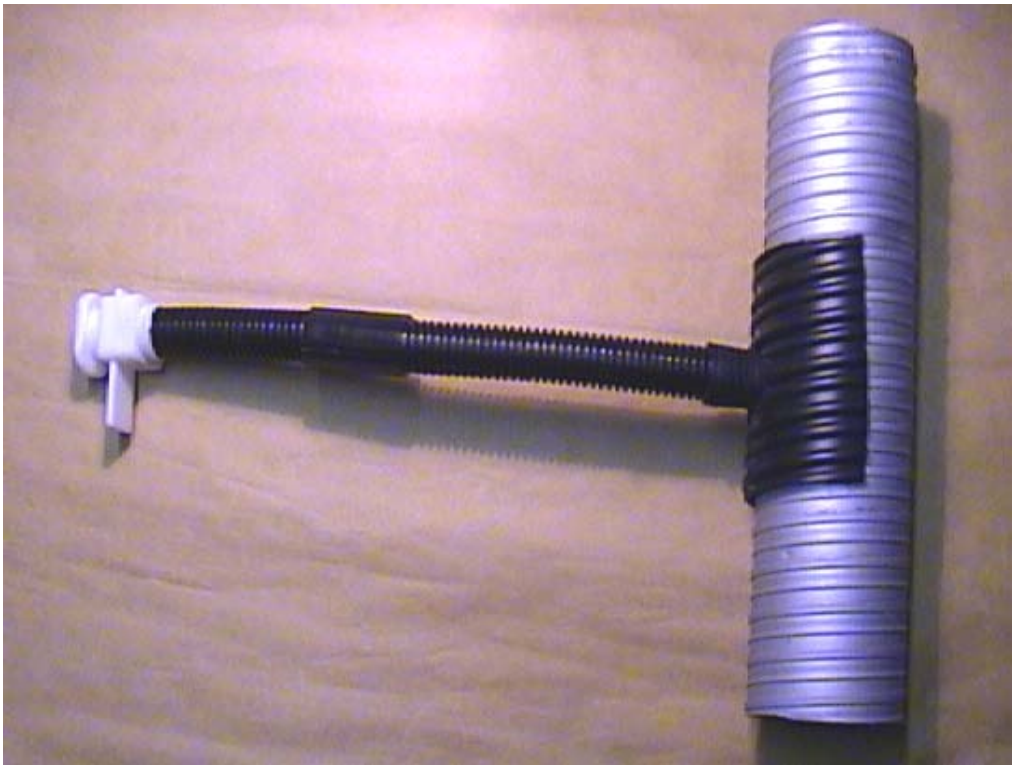


Obr. 11 Geometria skúšobnej vzorky injektážneho kábla



Obr. 12.1 Výsledky injektážnej skúšky a prvky injektáže

Obr. 12.2 Výsledky injektážnej skúšky a prvky injektáže

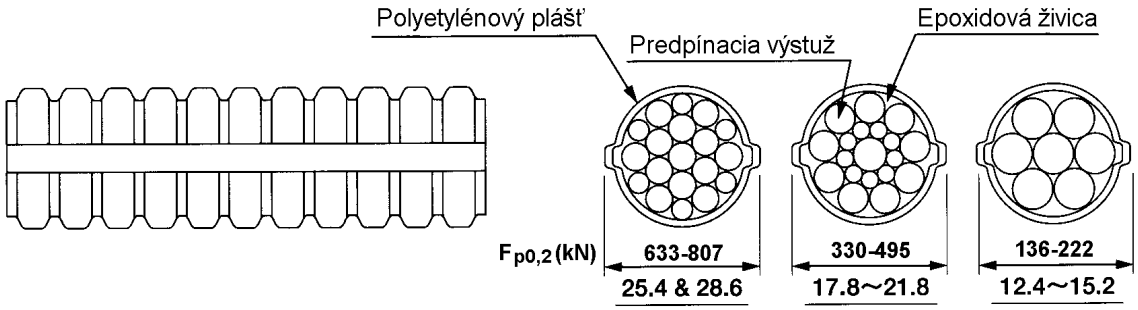


Obr. 13 Injektážne a odvzdušňovacie prvky kábla

S kotevným systémom PROJSTAR vykonal kontrolné skúšky injektáže Doprastav,a.s. vo februári 2003 (obr.12). Skúšky boli realizované podľa platnej ČSNP 742871 /6/ a preukázali spoľahlivosť zainjektovania všetkých častí vzorky kábla.

Pri úspešnom zvládnutí tejto skúšky, ale i celého injektážneho procesu in-situ, je potrebné používať moderné injektážne a odvzdušňovacie prvky (hadice, ventily) – obr.13, ale hlavne kvalitnú injektážnu techniku, ktorej nesmie chýbať meranie vody a výstupného tlaku malty.

Japonskí výrobcovia v snahe eliminovať zo stavby nespoľahlivú injektáž a zároveň zachovať vlastnosti súdržného predpätia ponúkajú tzv. PRE-GROUTED TENDONS-PGT (obr.14). Vo voľnom preklade ide o predinjektované predpínacie jednotky (7 až 19 drôtové spletence) extrudované v priesvitnom polyetylénovom plášti a vyplnené špeciálnou epoxidovou živicou, ktorá tuhne až po napnutí kábla. Živica tvrdnúca pod vplyvom vlhkosti, resp. teploty. Prednosťou predpínacích jednotiek PGT je vylúčenie injektáže, zachovanie súdržnosti predpínacej výstuže s okolitým betónom, vynikajúca antikorózna ochrana predpínacej výstuže a jednoduchá montáž. Tieto predpínacie jednotky boli uvedené na japonský trh už v roku 1995, ale až za ostatné roky našli väčšie uplatnenie v japonských mostoch, najmä vďaka rozvoju kompozitných konštrukcií. Možno toto je cesta ktorou sa bude v budúcnosti uberať mostné staviteľstvo.



Obr.14 Predinjektované predpínacie jednotky

Posilnenie kontrolnej funkcie pri realizácii predpätia in-situ

Predpínanie a injektáž káblov, hlavne súdržných, je takpovediac jedinečná, veľmi ťažko opraviteľná činnosť. Práve táto jedinečnosť by mala byť dôsledne pod dohľadom dodávateľa a investora.
Dodávateľ musí pre túto činnosť vyčleniť len ľudí, ktorí majú morálne predpoklady vykonať prácu zodpovedne, nezakrývať eventuálne problémy a hlavne musia si byť vedomí, aké dôsledky pre konštrukciu môže priniesť ich nezodpovednosť, resp. nedbalá činnosť.

Z poznania praxe na našich stavbách nemožno konštatovať, že investorský dozor plní dôsledne kontrolnú funkciu pri predpínaní a injektáži káblov. Úplne inak to je napríklad u našich susedov v ČR. Objektívne, pri súčasnom stave rozsahu a pestrosti činnosti dozoru na stavbe to ani jediný človek nemôže zvládnuť. Preto je na mieste perspektívne uvažovať o profesionalizácii a odčlenení tejto činnosti na autorizované osoby. Riešenie problému vedie tiež cez systém spôsobilosti. V zahraničí bežne pôsobia školiace inštitúcie pre vedúcich predpínacích a injektážnych skupín, ktoré osvedčujú ich spôsobilosť, zabezpečujú pravidelné preškolenia, ako aj kontrolnú funkciu in-situ /1/. Vytvorenie tohto mechanizmu by sa určite vyplatilo aj našim investorom a v konečnom dôsledku celej spoločnosti.

Záver

Nekvalita realizovaného diela okráda nás všetkých, najmä, ak uberá prostriedky na výstavbu nových. Nekvalita ako „očakávaný jav“ vedie zodpovedného projektanta k isteniu sa. Poistka vo forme predimenzovania rozmerov prvkov a množstva mäkkej a predpínacej výstuže je viditeľná, ak porovnáme mosty vybudované na Slovensku s mostami v zahraničí. Treba však upozorniť, že kvalita realizovaného diela a návrh sú spojité nádoby. Naši dodávatelia určite potvrdia, že na niektorých mostoch je toľko výstuže, že je problémom ju uložiť a kvalitne zabetónovať.

Určite by bolo zaujímavé vrátiť sa k ukazovateľom spotreby materiálov pre typické konštrukcie a technológie výstavby mostov a hodnotiť kvalitu projektu aj z tohto pohľadu.

Literatúra

[1] Durable post-tensioned cocrete bridges
Technical Report No.47.

[2] Grouting of post-tensioning tendons. VSL REPORT SERIES 5

[3] Búci L.: Obnova a zosilnenie predpätia viaduktu Podtureň.
Inžinierske stavby 1-2, roč.46, 1998

[4] Chandoga M., Jaroševič A.: Sanácia predpätia na viadukte Podtureň – meranie napätosti predpínacích káblov a teploty NK. Inžinierske stavby 1-2, roč.46, 1998

[5] Chandoga M., Jaroševič A. : Správa z monitoringu predpínania káblov. Diaľnica D1 Ladce – Sverepec. PROJSTAR PK s.r.o., Bratislava 2003

[6] ČSN P 742871 Systémy dodatočného předpínání . Obecné požadavky a zkoušení.