

Faktory ohrozujúce spoľahlivosť a životnosť predpätia v mostných konštrukciách

Doc.Ing.Milan Chandoga,PhD, Projstar-PK,spol. s r.o., Bratislava

Tel/fax 65422432

e-mail : milan.chandoga@stonline.sk

Úvod

Tento príspevok sa zaoberá faktormi, ktoré ovplyvňujú kvalitu realizácie dodatočného predpätia a faktormi, ktoré ovplyvňujú životnosť predpätia počas prevádzky mostnej konštrukcie. V príspevku sú tiež uvedené opatrenia a spôsoby, ako predchádzať faktorom, ktoré spoľahlivosť a životnosť predpätia zhoršujú. Ide hlavne o chyby a nedostatky projektového a realizačného charakteru.

1. Predpätie mostov - všeobecne

Dodatočné predpätie je v mostných konštrukciách realizované prevažne vo forme súdržného a vonkajšieho predpätia (voľné káble). Nesúdržné predpätie sa v mostoch používa v menšej miere, väčšinou ako doplnkové - rozptýlené predpätie z lán Monostrand pri predpätí mostovkových dosiek, resp. stien. V týchto prípadoch sa často používajú aj nesúdržné predpínacie tyče.

Základné prvky súdržného predpätia sú :

- predpínacie lano, tyč,
- hadica, resp. rúrka do betónu vytvárajúca káblový kanálik,
- kotva delená, resp. kompaktná,
- injektážna malta.

Od prvých úvah a riešení konštrukcie predpätia, ktoré predstavil Prof. Freyssinet ubehlo veľa rokov. Dnešné predpätie umožňuje realizovať betónové mosty s mimoriadne veľkými rozpätiami, vysokou únosnosťou, veľkou úsporou materiálu a doby výstavby. Doménou ocele tak už zostali len visuté mosty, presnejšie konštrukcia nosného trámu, nakoľko pylóny sa už dávnejšie navrhujú aj zo železobetónu. Tých viac ako 70 rokov vývoja bolo zasvätených nielen zdokonaľovaniu existujúcich a vývoju nových materiálov a prvkov predpätia, ale aj zdokonaľovaniu už existujúcich a hľadaniu nových konštrukčných systémov mostov.

V tomto procese sa uskutočnilo :

- **podstatné vylepšenie mechanických a reologických vlastností** predpínacej výstuže. Predpínacia výstuž dnes dosahuje štandardnú pevnosť 1860 MPa, relaxáciu pod 3%.
- **zdokonalenie spoľahlivosti a životnosti kotevných systémov**. Čel'ust'ové kotvenie znižuje únosnosť lán v kotve maximálne o 5%, ťahové namáhanie betónu v kotevnej zóne, vďaka viacstupňovým podložkám, je zvládnuteľné aj pri ich menších pôdorysných rozmeroch. Detaily a materiály antikorozynej ochrany kotvy a spojky sú riešené v integrite s požadovanými nárokmi na vysokú životnosť celého predpätia – kábla.
- **zdokonalenie napínacích zariadení – lisov**. Použitie vysokotlakej hydrauliky umožnilo redukovať tiaž napínacích zariadení – lisov. Zvýšila sa tiež ich spoľahlivosť a bezpečnosť.

- **zdokonalenie materiálov a technológie injektáže predpätia.** Žiaľ tento proces sa stal výsostne aktuálny až potom, čo sa prejavili prvé väčšie poruchy a dokonca havárie predpätých mostov v 70 – tých rokoch. Aj dnes je injektáž predpätia téma číslo jedna.
- **vd'aka inováciám predpätia došlo k významnému oživeniu a podstatnému zdokonaleniu mostných konštrukcií a technológii ich výstavby.** Najlepšie to možno dokumentovať na príklade zavesených mostov. K väčšiemu uplatneniu týchto systémov v 70-tych rokoch došlo až po zlepšení statických a únavových vlastností predpínacej výstuže a kotevných systémov závesov. Vlastná konštrukcia predpätia taktiež zaznamenala zmeny a dokonca vytvorenie nových koncepcií. Príkladom sú vonkajšie a extradosedové káble, alebo tzv. koncepcia totálneho vonkajšieho predpätia.

Vyššie uvedené pokrývajú len časť problematiky. Podstatné v celom procese vývoja predpätia je poznanie a praktické skúsenosti, ktoré sa prenášajú do vzdelávania inžinierov a technikov, a tiež do tvorby a zdokonaľovania noriem a technologických predpisov. V súčasnosti je problematika predpätia integrovaná v európskom predpise ETAG 013, ktorý ucelene rieši technické požiadavky na výrobu a skúšanie prvkov predpätia a ich spoľahlivé zabudovanie do konštrukcie. Stručne povedané - nestačí mať len dokonalé výrobky, ale treba ich aj dokonale zabudovať. K tomu sú na každom stupni potrební spoľahliví a vyškolení pracovníci s prepracovaným a hlavne fungujúcim riadiacim a kontrolným mechanizmom.

Na Slovensku doposiaľ nemáme vybudovaný systém, ktorý by systematicky riešil problém komplexného vzdelávania a autorizácie spôsobilosti vykonávať a kontrolovať túto činnosť na stavbách. Licenciu na túto činnosť má ÚVS Bratislava, ale ako ukazuje prax je to absolútne nedostatočné. Preto musí čo najskôr dôjsť k riešeniu tejto problematiky na úrovni projektanti – stavebné spoločnosti – PT špecializované spoločnosti - **investori**. Úmyselne som zvýraznil úlohu investora, lebo on preberá projekt a výslednú realizáciu a platí za to. Mnohé projekty a realizácie predpätia, najmä toho sanačného, na mostných objektoch v správe vyšších územných celkov, sú katastrofálne. Podľa môjho názoru a skúseností sa na tom podpisujú hlavne nedostatočné znalosti problematiky na strane stavebného dozoru.

Čo budeme rozumieť pod spoľahlivosťou a životnosťou predpätia ?

Spoľahlivosť predpätia možno chápať ako schopnosť zaviesť do betónovej konštrukcie požadovanú silu (napätie), ktorá sa bude meniť vlastným pričínením počas požadovanej životnosti konštrukcie len v očakávaných hodnotách a od očakávaných vplyvov, ako napríklad sú relaxácia, dotvarovanie, zmrašťovanie.

Ako chápať životnosť ?

Pretože predpätie je integrálnou súčasťou **betónovej konštrukcie**, životnosť predpätia musí byť rovnako dlhá, ako je jej navrhovaná životnosť. Už pri návrhu BK musíme myslieť na to, aby ona sama, aj jej prvky, vytvárali dobrý obranný mechanizmus – bariéru proti vplyvom, ktoré by napadli a poškodili predpätie. Životnosť predpätia je daná tiež kvalitou vlastnej konštrukcie a preto predpätie samo v sebe musí mať dostatok ochranných prvkov v prípade zlyhanie betónu.

Čo určuje prvky spoľahlivosti vlastného predpätia :

V prvom rade sú to **materiálové vlastnosti a konštrukcia prvkov predpätia**. Stabilita vlastností a kvalita produkcie sú dané a zároveň chránené systémom výrobných certifikátov, noriem a predpisov. Do podrobností je rozpracovaný a legislatívne ošetrený aj systém **kvality**

vykonania predpínacích prác. Napriek tomu väčšina problémov vzniká práve tu. V niektorých prípadoch je možné predchádzať problémom už v **štádiu projektovania**. Preto je veľmi dôležitá spolupráca PT špecialistu s projektantom betónovej konštrukcie, ako aj ďalšie vzdelávanie projektantov predpätých konštrukcií.

Čo podmieňuje životnosť predpätia:

Konštrukcia prvkov predpätia je dnes na takej úrovni, že sama osebe poskytuje niekoľko stupňov antikorošnej ochrany predpätia od štandardného, až po veľmi agresívne prostredie. Výsledkom zdokonaľovania detailov konštrukcie káblov sú káble s vodotesnou konštrukciou prvkov, resp. káble elektroizolované (pozri lit. [5]). Táto vyššia primárna ochrana predpínacej výstuže aj niečo stojí a preto stále dominuje štandardné predpätie s dobrou sekundárnou ochrannou funkciou betónovej konštrukcie. Hutný betón s dostatočným krytím prvkov predpätia, chránený proti priamemu vplyvu agresívnych činiteľov kvalitnou izoláciou, je v našich klimatických podmienkach postačujúcou ochranou. Stále tu je ešte jeden dôležitý faktor životnosti, na ktorý prevádzkovateľ dosť často zabúda a to je prevádzka a pravidelná údržba predpätej konštrukcie.

Kvalita projektovania predpätej konštrukcie je výsledkom poznania, ale tiež kontroly. Na to pamätá ETAG 013 a ustanovuje funkciu a povinnosť PT špecialistu. V tomto naša prax veľmi zaostáva. Tak dôležité prvky projektu, ako sú predpätie, dilatácie a ložiská, ktoré sú neopraviteľné (predpätie), alebo opraviteľné ťažšie a nákladnejšie, často len s odstavením konštrukcie (ložiská, dilatácie), by mali byť kontrolované už v projektovej fáze.

2. Materiál, prvky a realizácia súdržného predpätia

Predpínacie káble súdržné, injektované cementovou maltou sú naďalej najpopulárnejším prvkom predpätia betónových mostov. Zároveň sú aj najzraniteľnejším prvkom a po zainjektovaní kábla prakticky neopraviteľným prvkom. Preto sa im venuje aj zvýšená pozornosť. Príkladom je ETAG 013, kde im je venovaná podstatnú časť predpisu. V ďalšej časti príspevku by som rád poukázal na niektoré aktuálne problémy, najmä vo vzťahu k našej slovenskej praxi.

2.1 Predpínacia výstuž

Za predpínaciu výstuž sa dnes okrem štandardnej ocelevej, považuje aj výstuž nekovová vyrobená z uhlíkových, alebo sklenených vlákien. Pokiaľ ide o základný materiál pre výrobu ocelevej predpínacej výstuže, ten sa za ostatné roky významne nezmenil. Snahou každého výrobcu bolo vyvinúť takú technológiu, ktorá by maximalizovala úžitkové vlastnosti výsledného produktu drôtu, resp. lana a minimalizovala jeho negatívne vlastnosti. Ide hlavne o dosiahnutie maximálnej pevnosti pri splnení požadovaných kritérií na ductilitu – ťažnosť a minimalizovanie strát z relaxácie materiálu. Nezanedbateľným cieľom výroby je tiež vyrobiť predpínaciu výstuž s dobrou odolnosťou voči vrubovému namáhaniu (problém čelustového kotvenia) a prípadne únavovému porušeniu (závesy zavesených mostov). Sledovaná je aj odolnosť predpínacej výstuže voči korózii, či už povrchovej, alebo medzi kryštalickej. Vlastnosti a skúšanie predpínacej výstuže sú definované v PrEN 10138. V základných parametroch sú výrobky väčšiny výrobcov veľmi podobné, čo vytvára veľký tlak na stavebnom trhu.

Na našom trhu v ostatnej dobe pôsobia aj viacerí obchodníci - díleri predpínacej výstuže a ponúkajú laná rôznych výrobcov a konštrukcie. Nie vždy sú to obchodníci s potrebnými technickými znalosťami. Stáva sa, že deklarované vlastnosti lán sa pri kontrolných skúškach nepotvrdia. Preto je potrebné, aby sa nákup predpínacej výstuže realizoval len v súčinnosti s technicky spôsobilou osobou – tzv. PT špecialistom. V ďalšom by som chcel poukázať na dva aktuálne problémy praxe.

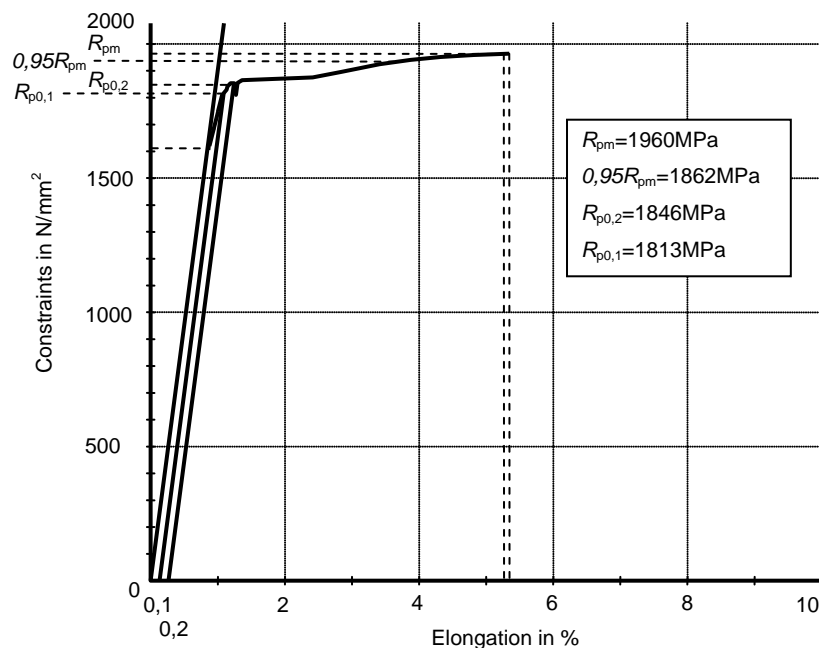
Problém „ductilita – ťažnosť“

Pretože výroba predpínacej výstuže je veľmi náročná na spotrebu energie, hľadajú sa v súčasnosti technológie, ktoré by túto náročnosť znížili. Výsledkom sú potom predpínacie výstuže citlivé na stabilitu niektorých požadovaných vlastností, alebo a priori nespĺňajú niektoré s požadovaných kritérií. V ostatnej dobe laná viacerých výrobcov majú problém s plnením kritérií pre ductilitu. Tieto laná sa dostali aj na slovenský trh. Laná, okrem iného, vykazujú trvalú deformáciu – ohyb a náchylnosťou na rozpletanie.

Pri „veľmi krehkej výstuži“ sú medza pevnosti R_p a medze $R_{p0,2}$, resp. $R_{p0,1}$ veľmi blízko. V krajnom prípade sa môže medza spoľahlivosti čelust'ového kotvenia $0,95R_p$ dostať tesne na úroveň $R_{p0,2}$, čím sa zvyšuje riziko eventuálneho pretrhnutia predpínacej výstuže pri jej napínaní. Zároveň sa zvyšuje riziko, že predpätá betónová konštrukcia sa nebude chovať dostatočne pretvárne a môže dôjsť k jej porušeniu bez predchádzajúcej signalizácie.

Kritériá ductility vyjadrené vzťahmi $R_{p0,2}/R_p \leq 0,9$ (ČSN 76207), resp. $R_p/R_{p0,1} \geq 1,1$ (EN1992-1-1) sú preto nanajvyš oprávnené.

V tejto súvislosti je dôležité splnenie aj ďalšieho kritéria, na ktoré sa dosť často zabúda a ktoré vychádza z predpisov pre spoľahlivosť čelust'ového kotvenia podľa ETAG 013 [1], resp. ČSN 742871 [2]. Podľa nich medza $0,95R_p$ má byť dosiahnutá pri minimálnom celkovom predĺžení lana 2%.



Obr.1 Pracovný diagram predpínacej výstuže s nevyhovujúcou ductilitou

Napät'ový a deformačný interval od zakotvenia predpätia $s_{vk} = 0,8R_{p0,2}$ po medzu porušenia $0,95R_p$ predstavuje rezervu, ktorú možno využiť počas prevádzky konštrukcie. Reprezentuje teda skutočnú bezpečnosť proti eventuálnemu porušeniu predpätej betónovej konštrukcie. Prírastok napätosti v predpínacej výstuži bude po zainjektovaní kábla priamo úmerný pretvoreniu betónovej konštrukcie. Pri dobrom návrhu je nepravdepodobné, že by sa v najviac exponovaných miestach konštrukcie pohyboval viac ako 3-5%. Teda napätosť a pretvorenie sa bude stále realizovať na lineárnej vetve pracovného diagramu predpínacej výstuže. Ako vieme, poloha kotiev je väčšinou v menej deformačne exponovaných miestach nosnej konštrukcie, takže rezerva ductility je ešte väčšia.

Z tohto hľadiska nemožno považovať nesplnenie kritéria ductility súdržnej predpínacej výstuže za priame ohrozenie spoľahlivosti nosnej konštrukcie.

Naši projektanti a dodávatelia v takom prípade riešili problém znížením základnej predpínacej sily z titulu nedostatočnej ductility použitím príl. G.3.3 (ČSN 76207) a dosiahnutie projektom požadovanej predpínacej sily zámenou za laná rovnakej ductility, ale väčšieho priemeru (15,7-15,8 mm), prípadne za laná s vyššou pevnosťou 1860 -1900 MPa.

Problém „vinutie“

Niektorí výrobcovia ponúkajú sedemdrôtové laná s pravým, ako aj ľavým vinutím. Preto pri ich nakupe musíme byť veľmi pozorní. Ak nedbalosťou, alebo nepozornosťou sú pri zostavovaní kábla použité oboje laná môže dôjsť k neočakávaným problémom pri ich napínaní. Účinok mixu sa najviac prejaví pri individuálnom spojovaní týchto lán pri výrobe vopred predpätých prvkov, resp. plávajúcich spojok kábla. Laná sa pri napínaní odvíjajú a skutočné predĺženie akoby narastalo, taktiež môže dôjsť aj k uvoľneniu lán z čel'ust'ového kotvenia spojky, alebo k uvoľneniu spojovacej závitovej tyče.

2.2 Kotevné systémy

Kotevné systémy podobne, na rozdiel od predpínacej výstuže nie sú ošetrené európskou normou, ale smernicou ETAG 013. Tie isté skúšobné kritériá a dokonca v niektorých prípadoch ešte prísnejšie, sú v ČSN 742871 „Systémy dodatečného predpínania. Obecné požiadavky a zkoušení.“. Do uvedenia ETAGu boli podľa tejto normy realizované certifikačné skúšky kotevných systémov vyrábaných na Slovensku.

Certifikácie daného kotevného systému, ako podstatnej zložky dodatočného predpätia je možná len na základe úspešného vykonania preukazných skúšok statických, únavových na vzorke kábla a prenosu zaťaženia do betónovej konštrukcie.

Certifikácia požaduje aj preukázanie spoľahlivej inštalácie predpätia, jeho predpínania a injektáže.

Aktuálna situácia na Slovensku hovorí, že v tejto oblasti nemáme žiadne problémy. Pôsobí tu viacero firiem domácich a zahraničných s porovnateľnou kvalitou výrobkov a spoľahlivou realizáciou prác.

Problém „priebežné káble „

Kritickým miestom v betónovej konštrukcii je kotevná oblasť. Najmä pri mostoch budovaných progresívnym spôsobom (pole za polom, letmá betonáž, resp. montáž) musí projektant riešiť problém 60% kotvenia a 40 % priebežnosti káblov. Oveľa väčšie problémy sú spojené s realizáciou tejto podmienky. Priebežné – tzv. čakajúce - káble komplikujú

armovacie, montážne a predpínacie operácie. Na viacerých estakádach je priebežná predpínacia výstuž vystavená poveternosti po dlhšiu dobu. V našich klimatických podmienkach dochádza zákonite k prerušeniu výstavby (zima), ktoré niekedy trvá aj 2 – 4 mesiace. Za toto obdobie je nemožné dokonalé chrániť výstuž proti korózii. Nehovoriac už o spoľahlivosti pasívneho kotvenia, ktoré je len ťažko vymeniteľné. Ak nedokážeme čakajúcu predpínaciu výstuž dočasne ochrániť proti korózii tak, ako to požadujú TP a zainjektovať v požadovanom časovom termíne, je požiadavka priebežných káblov diskutabilná.

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

Ako teda riešiť problém antikorozynej ochrany kotvenia a káblov. Ak máme tušenie, že vplyvom poveternosti bude predpätie nedokončené – nenapnuté a nezainjektované, mali by sme realizovať tieto opatrenia:

- pasívne kotvenie lán v spojke, resp. kotve, konzervujeme vhodným antikorozyňm mazivom. Tieto opatrenia treba realizovať najmä pri čel'ust'ovom kotvení lán.
- uzavrieť všetky otvory určené pre injektáž a odvzdušnenie kábla v kotve a na voľnej dĺžke kábla,
- utesniť- prepáskovať PE páskou na voľnej dĺžke kábla všetky spoje rúrky - hadice do betónu,
- hadice by mali presahovať prepínaciu výstuž tak, aby bolo možné zaslepiť ich konce,
- aplikovať na laná antikorozyňnu vodou zmývateľnú emulziu. Odporúča sa použiť výrobok „ RAST BAN“, ktorý bol overený na viacerých mostoch vo Švajčiarsku.
- neodporúča sa ponechať už napnuté káble po dlhšiu dobu v zimnom období nezainjektované.



Obr.2 Korózia mäkkej a predpínacej výstuže diaľnica D1-Sverepec

Problém „vzdialenosť roznášacích podložiek“

Minimalizácia rozmerov roznášacích podložiek je aj výsledkom neustáleho rastu cien oceľových odliatkov. Nemenej významnú úlohu zohrali aj náklady na prepravu, používanie vysoko pevnostného betónu a iné faktory. Pri jednostupňových podložkách je možné dopracovať sa k minimálnym vzdialenostiam podložiek skúškami, alebo výpočtom, pri viacstupňových podložkách len preukaznou skúškou. Výsledky počítačového modelovania, z ktorého by sme dostali percentuálny podiel jednotlivých stupňov – dosiek na prenose celkového zaťaženia, sú len orientačné. Okrem toho v kotevné zónach sú väčšinou kotvy umiestnené v niekoľkých radoch po výške a šírke prierezu. Namodelovať, resp. odskúšať také usporiadanie je veľmi zložitá úloha. Pri experimentálnom overovaní prenosu zaťaženia na bloku betónu bola preukázaná veľmi dobrá funkcia špirálovej výstuže. Dobře navrhnutá špirála zabraňuje, alebo obmedzuje priečne pretvorenie betónu a zachytáva nežiaduce radiálne ťahové sily. Kotva s uzavretým betónom akoby sa ocitli v uzavretom hrnci (obr.3). Téza, že viacstupňové podložky znižujú rozmery kotevnej zóny a znižujú vzdialenosti kotiev, nie je správna. Ak si pozorne preštudujeme odporúčania PT spoločnosti, rozmery kotevnej zóny a vzdialenosť podložiek určujú rozmery špirály, resp. potrebné množstvo a vzdialenosti strmeňovej výstuže. Náhradu drahej ocele rieši viacero PT firiem čiastočnou aplikáciou vysokohodnotného betónu – vláknobetónu, či už priamo v kotevnom systéme, alebo v podkotevnej oblasti konštrukcie.



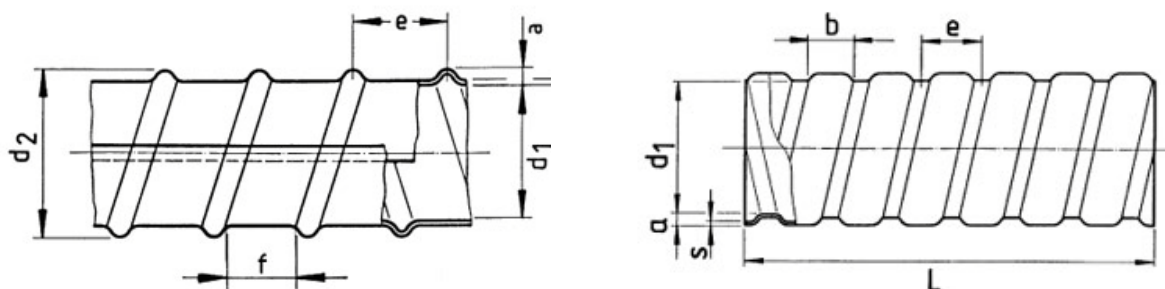
Obr.3 Skúška prenosu zaťaženia od 13 lanovej kotvy – porušenie vzorky

2.3 Hadice do betónu

Na vytváranie káblových kanálikov v betóne sa i v súčasnosti najviac používajú oceľové hadice zo stáčaného plechového pásika. Kvôli zvýšeniu životnosti sa vyrábajú aj galvanizované hadice. Hadice z polyetylénu sú na trhu už viac ako 15 rokov. Vzhľadom na kompletnosť prvkov injektáže a spájania, umožňujú plasty vytvoriť prakticky vodotesný systém, ktorý zaručuje spoľahlivú protikoróznú ochranu predpätia. Pre niektoré typy predpätia, napríklad elektroizolované káble, sú PE hadice nutnosťou. Väčšiemu používaniu plastov bráni ich vysoká cena v porovnaní s oceľovým typom hadíc. Kompatibilita oceľového a polyetylénového systému umožňuje už dnes používať plastové spojky, odbočky, injektážne hadice a ventily v kombinácii s oceľovými hadicami. Vlastnosti hadíc a ich overovanie – skúšanie - ako podmienky pre udelenie výrobného certifikátu uvádzajú normy (2), (4).

Téma „Pozdĺžne zvarané hadice“

Na Slovensku sa v 2007 začali používať aj pozdĺžne zvarané hadice. Ukazuje sa, že ide o výrobok, ktorý prevyšuje kvalitu hadice zo stáčaného plechu. Hadica je podstatne tuhšia, ale nie natoľko, aby nedovolila vytvoriť štandardné zakrivenie kábla. Spojovacie rúrky sú vyrábané samostatne a preto dobre utesňujú spoje hadíc. Vyššiu tuhosť týchto hadíc možno najviac oceniť pri realizácii čakajúcich káblov.



Obr.4 Pozdĺžne zvarané hadice a spojky firmy wbr

2.4 Injektážna malta a injektáž

Injektáž, ako posledná operácia pri realizácii predpätia na stavbe, sa veľakrát chápala ako jednoduché miešanie cementu a vody a jej následné tlačenie do kanáliku. 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.

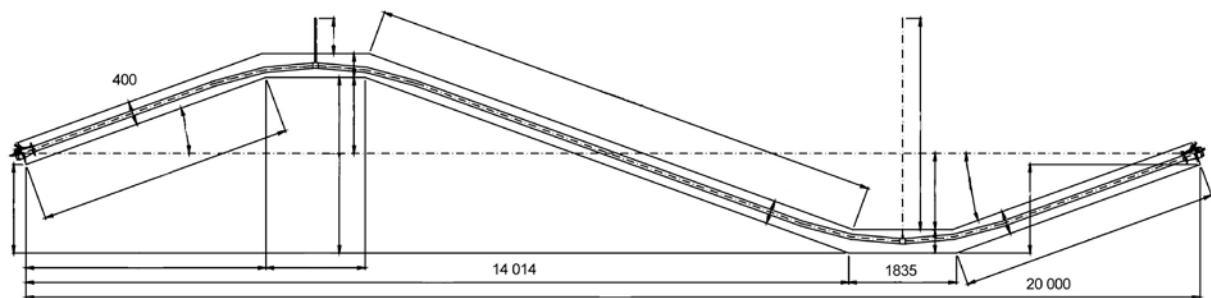
Medzi základné vlastnosti injektážnej malty patria spracovateľnosť, objemová stálosť, odlučnosť vody, pevnosť a mrazuvzdornosť. Vlastnosti mált a spôsob ich skúšania sú ošetrené

EN. Na injektáž možno použiť len certifikované malty, ktoré vyhovejú preukazným skúškam v akreditovaných laboratóriách.

Problém „ Skúška injektovateľnosti kábla“

Okrem preukazných skúšok injektážnych mált sa požaduje aj vykonanie preukaznej skúšky injektovateľnosti kábla. Každá PT špecializovaná spoločnosť 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. Skúšobná vzorka kábla je na oboch koncoch opatrená koncovými kotvami a jej tvar simuluje skutočnú geometriu kábla (obr. 4). Podrobný postup skúšky je uvedený v predpisoch [1], [2]. Cieľom tejto skúšky je preveriť PT špecializovanú spoločnosť realizovať injektáž v požadovanej kvalite. Ide o veľmi ostrú skúšku, pri ktorej sa v prvej etape skúša aj vodotesnosť neobetónovaného systému. Skúsenosti hovoria, že len precízne zostavenie vzorky, použitie kvalitného injektážneho zariadenia a dôsledné dodržiavanie pracovného postupu vedie k úspechu. Na obr.4 je geometria skúšobnej vzorky kábla a fotografie injektovateľnosti rúrky a kotvy.

Záverom by som uviedol príklad zo zahraničia. Niektoré štáty považujú túto prácu za tak dôležitú, že injektáž na stavbe môže vykonať PT špecializovaná spoločnosť len v prítomnosti špeciálneho dozoru „ injektážneho inšpektora“.



Obr.5 Skúška injektovateľnosti kábla. Geometria skúšobnej vzorky, kontrola kompaktности zatvrdnutej injektážnej malty.

2.5 Predpínanie

Kontrola predpínacej sily sa realizuje počas predpínania a tesne pred zakotvením kábla pomocou manometra hydraulického tlaku, ktorý je umiestnený na čerpadle, resp. predpínacom lise. Pretože každé hydraulické zariadenie vykazuje určité straty (trenie piestu vo valci, strata tlaku v závislosti od priemeru a dĺžky hydraulických rozvodov a pod.) musí byť pravidelne „kalibrované“ - porovnané s iným, oveľa presnejším zariadením, napríklad tenzometrickým dynamometrom. Kalibráciu na Slovensku vykonáva TSÚS Bratislava. Platnosť kalibrácie vyplývajúca zo zákona a má dĺžku 12 mesiacov.

Kontrola vnesenia predpínacej sily sledovaním hydraulického tlaku v predpínacom lise je dôležitá z hľadiska okamžitého posúdenia zaťaženia predpínacej výstuže. Nemenej dôležitá je kontrola predĺženia a jeho porovnanie s teoretickým predĺžením. Pri výpočte teoretického predĺženia zohľadňujeme skutočné vlastnosti zabudovaného predpínacieho materiálu (modul pružnosti E), nie sme však schopní zohľadniť rozdiely v koeficiente trenia kábla v káblovom kanáliku a dosiahnutú geometriu kábla. Koeficient trenia výrazne ovplyvňuje korózia predpínacej výstuže a káblového kanáliku. Najväčší vplyv na stratu predpínacej sily má zakrivenie rúrky v priamych úsekoch kábla.

Problém „rozdiely medzi teoretickými a skutočnými predĺženiami káblov“

Viackrát som bol požiadaný slovenskými PT spoločnosťami, aby som napomohol pri vysvetlení a zdôvodnení väčších rozdielov medzi teoretickými a nameranými predĺženiami káblov. Väčšina týchto problémov má vysvetlenie v nasledujúcom :

- ak je **predĺženie menšie** ako teoretické, signalizuje to, že trenie predpínacej výstuže je väčšie, ako sme predpokladali vo výpočte teoretickej hodnoty, alebo napínacie zariadenie nevnáša požadovanú predpínaciu silu. Úprava veľkosti predpínacej sily bez priamej kontroly hydraulického tlaku v lise, resp. kalibrácie napínacieho zariadenia sa nepovoľuje.
- **nepravidelný rast predĺženia** počas napínania kábla signalizuje, že kábel je v niektorom mieste blokovaný (čiastočne zatečený, zalomený, apod.). V takom prípade predpínanie treba prerušiť a informovať stavbyvedúceho.
- ak **systematicky** zaznamenáme **väčšie skutočné predĺženie**, ako je teoretické, musíme v prvom rade skontrolovať napínacie zariadenie.
- **okamžite prerušíme predpínanie**, ak predĺženia rastú neúmerne teoretickým. Táto skutočnosť signalizuje, že dochádza k preťaženiu oslabeného kábla. Najčastejšou príčinou je uvoľnenie lán v pasívnej kotve (spojke), alebo poškodenie, až pretrhnutie drôtov (lán).

O tom, že problém kontroly vnesenia predpínacej sily je veľmi aktuálny, svedčí aj vývoj novej generácie napínacích lisov, ktoré majú už zabudovaný digitálny systém merania predĺženia a hydraulického tlaku v lise.

Meranie sily v lise je možné riešiť aj externe tenzometrickým, resp. magnetoelastickým dynamometrom. Úprava lisu PAUL 3000kN elastomagnetickým senzorom PROJSTAR PMSJ13 umožňuje počas napínania sledovať silu v každom z 13 lán kábla.



Obr.6 Predpínací lis a čerpadlo PAUL s digitálnym meraním predĺženia a sily v kábli.



3.Koncepcia predpätia

Predchádzajúca kapitola bola venovaná výhradne súdržnému predpätiu, ktoré je umiestnené v stenách a doskách betónových mostov. Rovnako stará je i koncepcia a konštrukcia vonkajšieho predpätia. Podstatný pokrok vo vývoji a aplikácii vonkajšieho predpätia v mostnom staviteľstve sme zaznamenali až v 70-tych rokoch . Nesporne k tomu prispeli niektoré problémy s koróziou injektovaného predpätia, ale aj čoraz väčšia snaha o odhmotnenie betónového priečného rezu trámu nosnej konštrukcie.

Vonkajšie predpätie je tiež neodmysliteľným prvkom zosilňovania a sanácie starších predpätých železobetónových a oceľových mostov.

V súčasnosti môžeme sledovať tieto trendy v navrhovaní predpätých mostov:

- mosty predpäté len súdržným predpätím,
- mosty s vonkajšími káblami, ktoré dopĺňujú systém súdržných káblov,
- mosty so súdržným predpätím a vonkajšími káblami umiestnenými aj mimo nosnú konštrukciu trámu - EDK (Extradosed mosty, vzperadlové mosty). Možno ho tiež nazvať ako vonkajšie predpätie s veľkou excentricitou,
- mosty predpäté iba vonkajšími káblami.

Posledne uvedená koncepcia, nazývaná tiež koncepcia **totálneho vonkajšieho predpätia – TVK**, prináša okrem iného aj tieto výhody:

- absolútna kontrola životnosti predpätia a jeho prípadná vymeniteľnosť a dopínateľnosť,
- zníženie strát predpätia z trenia kábla pri napínaní,
- výrazné odľahčenie priečneho rezu mosta,
- možnosť navrhovať a posudzovať konštrukciu ako predpätý železobetón

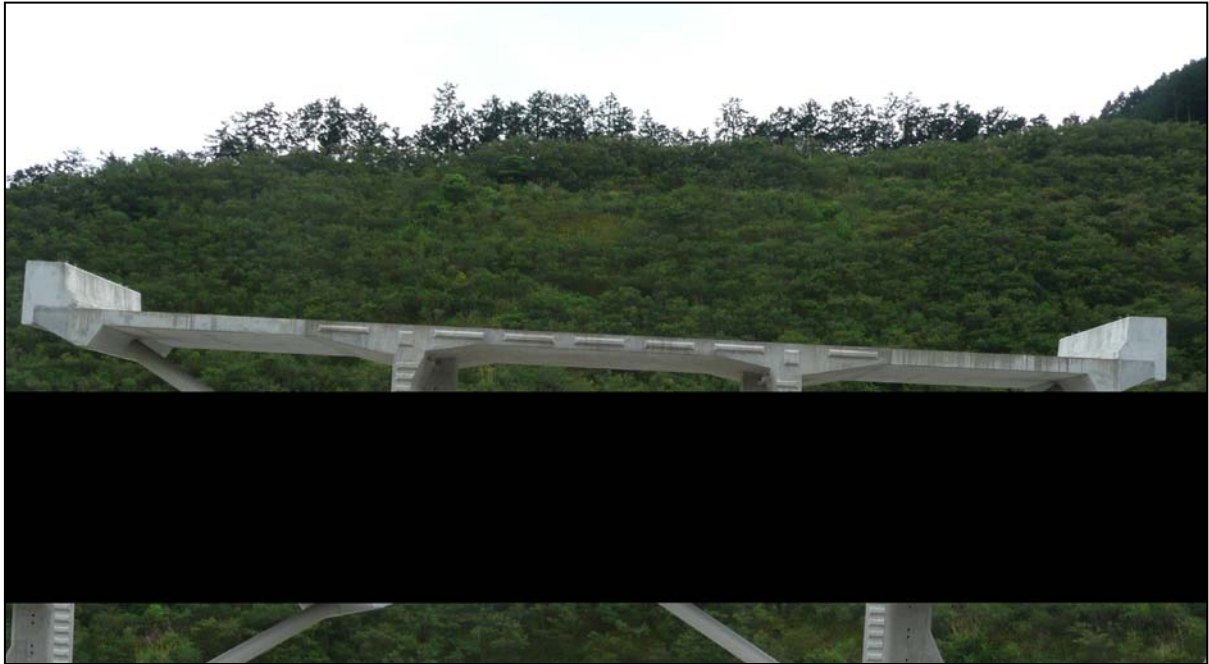
Koncepcia TVK bola aplikovaná v Japonsku aj na letmo betónovaných a montovaných mostoch.



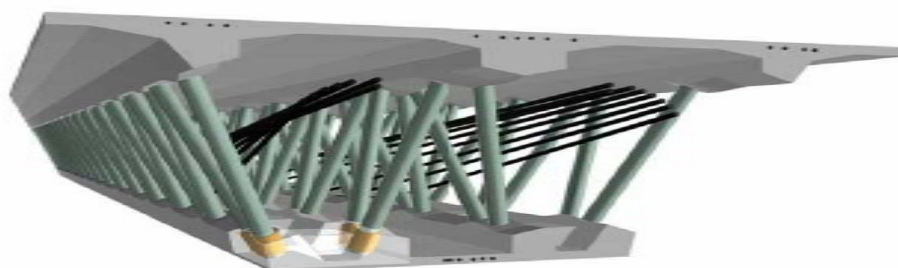
Obr.7 Vysúvaný most Katsurashima
Japonsko s totálnym
vonkajším predpätiím TVK (foto autor
príspevku).



Na obr.7 a 8 možno vidieť v čom spočíva interakcia v koncepcií TVK predpätia a priečneho rezu trámu. Ak sme káble vytiahli z „betónu“, je možné hrúbky dosiek a stien podstatne redukovať, alebo dokonca betón nahradiť plechovou stenou (obr.7). Pretože v betónových stenách je len mäkká výstuž, betonáž je kvalitnejšia a logickým riešením je potom použitie betónov vyšších pevností. Vysokopevnostné, resp. vysokohodnotné betóny opäť umožňujú ďalšie zoštíhlenie prvkov.



Obr.8 Priečný rez a výstavba Uchimaki viadukt–Japonsko. Celková dĺžka 1,048 km. Dĺžka polí 51 - 53 m (foto autor príspevku).



Obr.9 Pohľad do konštrukcie mosta Sarutagawa- Japonsko. Celková dĺžka mosta 625 m, dĺžka poľa 110m. Výška trámu 6,5 m (foto autor príspevku).

V Japonsku bolo postavených viacero mostov, kde VK sú základným, alebo jediným predpätím. Letmo betónovaný Viaduct Sarutagawa je príkladom koncepcie, kde VK dominujú. Prihradový trám tvoria dve dosky predpäté predinjektovanými káblami – PGT (pregouted tendons), ktorých injektáž vytvrdne až po určitom čase od predpätia. Prihradovinu tvorí systém oceľových stĺpov vyplnených betónom.

Extradosedové mosty. Tak nazývame mosty so zvýšenou excentricitou vonkajších káblov (EDK), ktoré sú výsledkom výskumu a vývoja koncepcií predpätia 80-tych rokov. Vytiahnutím vonkajších káblov nad, resp. pod konštrukciu trámu zvýšime zdvihové účinky predpätia a nakoľko tuhosť trámu sa podstatne nemení, pohyblivé zaťaženie nevyvoláva

únavové namáhanie káblov. EDK káble preto môžu byť kotvené v štandardných kotvách a predpínací materiál môže byť využitý na viac ako 60% pevnosti, teda na podstatne vyššiu hladinu, ako sú závesy zavesených mostov, pri ktorých je základná napätosť lán len na cca 40-45% ich pevnosti. Najviac mostov so zvýšenou excentricitou VK a EDK káblami bolo postavených v Japonsku. Konceptie vonkajšieho predpätia, vrátane TVK a EDK tak ako sa uplatňujú v Japonsku, sú výsledkom tlaku na zabezpečenie vysokej životnosti betónových predpäťých mostov najmä zo strany investorov.

Lávka pre peších, obr.10, má spojité VK, ktoré sú v poli pod trámom a plnia funkciu vzpery nad strednou podperou, sú vytiahnuté nad trám a sú uložené v betónovom sedle. Na obr.11 je klasický príklad extradosedového mosta, ktorý bol postavený vo Švajčiarsku a ocenený organizáciou fib.



Obr.10 Lávka pre peších Bohkei – Japonsko.



Obr.11 Extradosed viadukt Sunniberg – Švajčiarsko

Záver

Problematika spoľahlivosti a životnosti predpätých konštrukcií je veľmi rozsiahla a preto nemôže byť vyčerpávajúco podaná v jednom príspevku. V tejto písomnej verzii príspevku som sa snažil poukázať na jej aktuálnu časť čiastočne z pohľadu slovenskej praxe. V orálnej prednáške na 14. mostárskej konferencii bude problematika rozšírená o podstatne širšiu faktografickú a obrazovú dokumentáciu. Pre toho, kto má hlbší záujem o problematiku, odporúčam príspevky uverejnené v zborníkoch kolokvií fib [3], [5].

Literatúra

- [1] ETAG 013 „Zostavy pre dodatočné predpínanie konštrukcií“, Návod na Európske technické osvedčenie TSÚS Bratislava
- [2] ČSN 742871 „Systémy dodatečného predpínání. Obecné požadavky a zkoušení.“
- [3] Chandoga,M.: Predpínacie jednotky a prvky predpätia. V zborníku z kolokvia 1.fib Kongresu v Osake 2002 , ŽU Žilina, 2003 , str.101-109
- [4] Chandoga,M.: Vývoj a aplikácia vonkajších káblov. . V zborníku z kolokvia 1.fib Kongresu v Osake 2002 , ŽU Žilina, 2003 , str.111-117
- [5] Chandoga,M.: Systémy dodatočného predpätia – vývojové trendy a aplikácie. V zborníku z kolokvia 2.fib Kongresu v Neapole 2006 , fib Starý Smokovec, 2007 , str.94-107
- [6] H.Mutsuyoshi : An innovative prestressed concrete bridge with large eccentric external tendons. Prednáška na zasadaní TG.9 fib Shizuoka, Japonsko, 2007.
- [7] S.Takahashi : The general view of the New Tomei Expressway bridges in Shizuoka Prefecture. Prednáška na zasadaní TG.9 fib Shizuoka, Japonsko, 2007.