



SLOVAKIA

KONFERENCIA „BETÓN NA SLOVENSKU 2014– 2018“

ELEKTROIZOLOVANÉ PREDPÍNACIE KÁBLE PROJSTAR CH 15-19/EIK

Milan Chandoga¹

Andrej Jaroševič²- Ladislav Čerňanský³- Lubomír Hrnčiar⁴- Richard Púček⁵

ABSTRAKT

VÁHOSTAV-SK, a.s. je od roku 2012 držiteľom licencie na predpínací systém PROJSTAR-CH. V rámci prebiehajúcej certifikácie podľa európskej smernice ETAG 013 boli v rokoch 2015-2016 opakovane uskutočnené statické a únavové skúšky kotevných systémov pre súdržné a nesúdržné predpätie. V minulom roku po získaní zákazky na železničný most v Púchove, bolo potrebné urýchlene vyvinúť, odskúšať a certifikovať aj systém pre elektro izolované káble. V tomto príspevku je predstavená konštrukcia a niektoré výsledky preukazných certifikačných skúšok predpínacieho systému PROJSTAR CH-19/EIK.

1 ÚVOD

Od začiatku používania technológie predpätého betónu je optimálna antikorózna ochrana predpínacej výstuže kľúčovou záležitosťou spoľahlivosti a životnosti predpätých konštrukcií. Nové trendy vo vývoji systémov dodatočného predpätia sa takmer výhradne realizujú v oblasti zvyšovania ich životnosti. Je to dlhodobý trend, ktorý gradoval v deväťdesiatych rokoch, keď bolo vo viacerých krajinách uvalené moratórium na výstavbu mostov z dodatočne predpätého betónu. Podrobné zdokumentovanie a analýza prípadov závažného korozívneho poškodenia predpínacích káblov sa stali predmetom odbornej diskusie na viacerých medzinárodných workshopoch. Hlavným prínosom workshopov bola otvorená diskusia o problémoch zvyšovania životnosti PT systémov, zlepšovaní antikoróznej ochrany prvkov predpätia, kvality predpínacích prác, inšpekcií a monitoringu predpätia.

Najčastejším prípadom lokálnej korózie predpínacej výstuže je štandardná elektrolytická korózia. Príčinou korózie je voda kontaminovaná agresívnymi zložkami - chloridmi, ktorá sa dostane ku káblu cez trhliny a netesné miesta v betóne a prenikne do dutín nedokonale zainjektovaného kábla a prvkov jeho kotvenia a spájania. V prípade dodatočne predpätých mostov najmä železničných dochádza ku korózii predpínacej výstuže aj vplyvom bludných

¹ Doc. Ing. PhD., PROJSTAR-PK,s.r.o., Nad ostrovom 2, 84104 Bratislava, e-mail: projstar@projstar.sk

² Doc. RNDr. PhD., PROJSTAR-PK,s.r.o., Nad ostrovom 2, 84104 Bratislava, e-mail: projstar@projstar.sk

³ Ing., VÁHOSTAV-SK, a.s., Priemyslená 6, 821 09 Bratislava 3, email: ladislav.cernansky@vahostav-sk

⁴ Ing., VÁHOSTAV-SK, a.s., Priemyslená 6, 821 09 Bratislava 3, email: lubomir.hrnčiar@vahostav-sk

⁵ Ing., VÁHOSTAV-SK, a.s., Hlinská 40, 011 18 Žilina, email: richard.pucek@vahostav-sk

prúdov. Pretože prakticky neexistuje žiadna nedeštruktívna metóda pre lokalizáciu miesta korodujúceho kábla, stala sa korozívna ochrana predpínacej výstuže prioritou.

V 90 tých rokoch sa zrodila kategorizácia káblov predpätia, ktorá poskytuje rôzne stupne konštrukčného riešenia antikorozynej ochrany predpínacej výstuže [1].

Podľa toho, v ktorej kategórii agresivity prostredia a stupňa ochrany sa predpätie nachádza rozoznávame nasledovné **úrovne ochrany predpínacieho kábla PL** (kde je PL - protection level):

PL1 – kábel injektovaný cementom v hadici zo stáčaného plechu, kotvy sú zabetónované bez ochranných krytov.

PL2 – kábel injektovaný cementom v PE hadici s ochrannými krytmi kotvenia, tzv. kábel s kompletným vodotesným obalom.

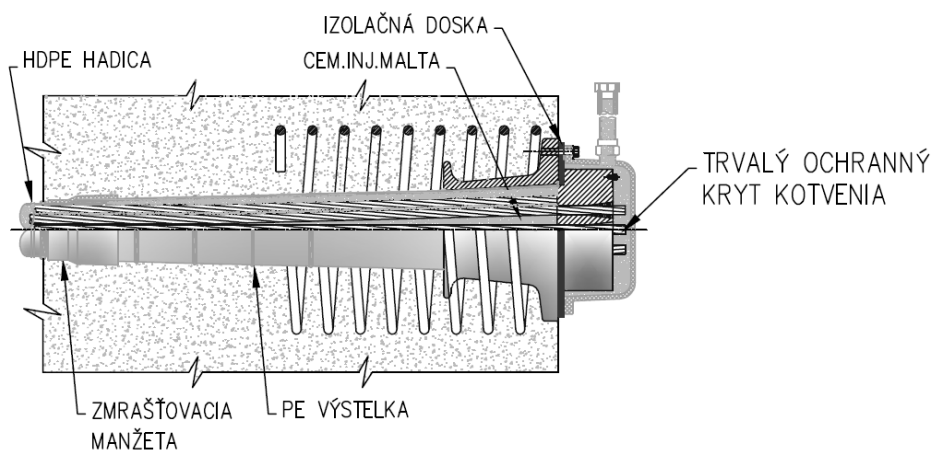
PL3 - elektricky izolovaný kábel (EIK). Je to kábel PL2 doplnený elektro izolačnými prvkami pre ochranu proti bludným prúdom. **Jeho korozívny stav možno monitorovať meraním zmien izolačného odporu EIK.**

Najvyššiu úroveň ochrany z hľadiska chloridov, ako aj bludných prúdov, poskytujú tzv. elektro izolované káble (ďalej len EIK), u ktorých je možné ochranu predpínacej výstuže proti korózii a bludným prúdom merať pomocou elektrického odporu medzi predpínacou a betonárskou výstužou zabudovanou v betónovej konštrukcii.

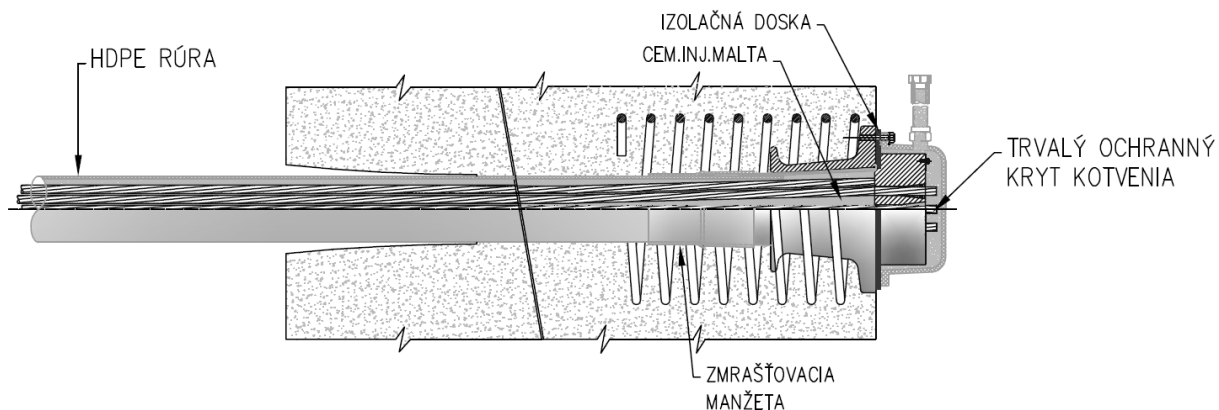
2 Konštrukcia súdržného EIK systému PROJSTAR-CH

Základná konštrukcia elektricky izolovaného súdržného kábla vychádza z konštrukcie kábla kategórie LP2. Vo voľnej dĺžke medzi koncovými kotvami je primárne chránená kompaktno extrudovanou hadicou z PE. Pre úplnú el. izoláciu predpínacej výstuže sú v kotevných zariadeniach použité nasledovné elektro izolačné prípravky z PE, pozri obr.1,2:

- izolačná kužeľová vložka z PE, ktorá je prepojená s PE hadicou pomocou PE zmršťovacej manžety. V čele kužeľovej vložky je manžeta, ktorá je zapustená do drážky v čele ocelevej roznášacej podložky RPCH/2S,
- elektro izolačná medzikruhová doska, ktorá odizoluje kotevnú objímku od roznášacej podložky. Stykové plochy prvkov sú utesnené silikónom,
- ochranný kryt kotvenia z PE, ktorý je utesnený gumovým krúžkom.



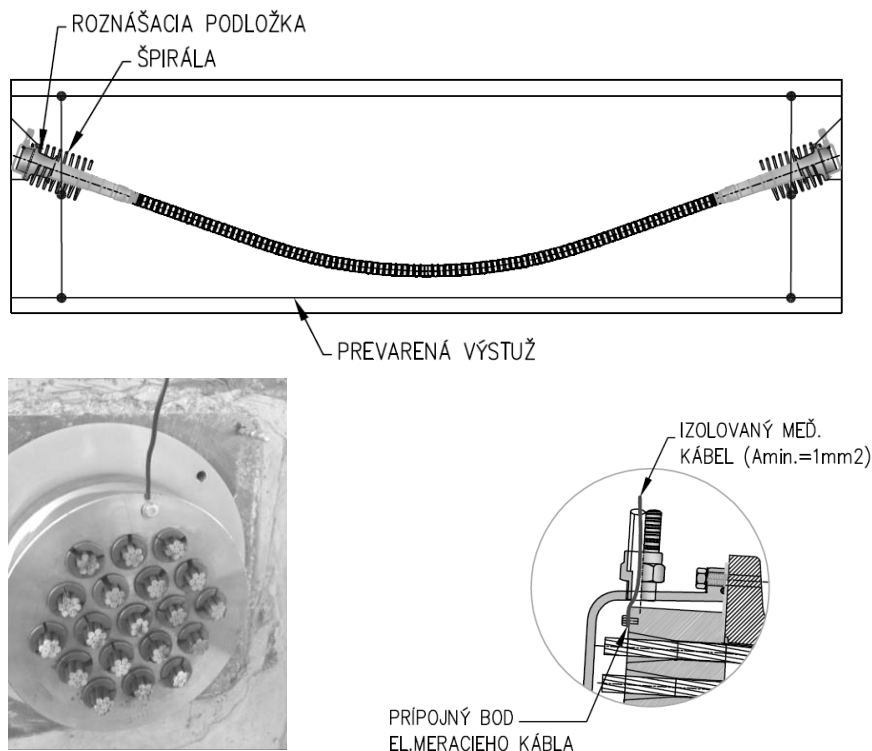
Obr.1 Konštrukcia EIK pre súdržné káble systému PROJSTAR-CH/EIK



Obr.2 Konštrukcia EIK pre voľné káble systému PROJSTAR-CH/EIK

Vývody pre pripojenie meracieho prístroja

Merací prístroj určený na meranie elektrických vlastností EIK pripojíme na izolované drôtové vývody z kotevnej objímky KO-CH a z roznášacej podložky RPCH pozri (obr.3) . Roznášacie podložky na oboch koncoch kábla musia byť vzájomne elektricky prepojené. Prepojenie zabezpečíme prevarením betonárskej výstuže v priečnom a pozdĺžnom smere mosta, minimálne v dvoch miestach priečného rezu. Zváranie realizujeme pred ukladaním PE hadíc káblového kanálíka, aby sme ich náhodou neprepálili. Ako druhý pól na pripojenie meracej aparatury (namiesto roznášacej podložky) možno použiť aj zvaranú výstuž.



Obr.3 Detail pripojenia vodiča na kotevnú objímku

3 Všeobecne o meraní elektrických parametrov EIK

Predpínací kábel je dobrým vodičom elektrického prúdu a jeho základnou charakteristikou je jeho elektrický odpor R [Ω]. Odpor predpínacieho kábla má väčšinou hodnotu hlboko pod 1Ω . Na vyvedenie „meracích bodov“ stačí dobre izolovaný medený drôt (aspoň 1mm^2 kvôli mechanickej pevnosti), pričom ho treba priskrutkovať cez „vejárovitú“ podložku ku kotevnej objímke aj roznášacej podložke. Pri meraní je dobré mať obidva meracie body pokope.

Injektážna malta nie je izolantom, merný odpor vzoriek injektážnej malty, odobratých pri injektáži na stavbe sa pohybuje po štyroch týždňoch od injektáže na úrovni $40 \Omega\cdot\text{m}$. V porovnaní s merným odporom železa $9,8\cdot 10^{-8} \Omega\cdot\text{m}$ má malta skoro o deväť rádov väčší odpor, ako železo.

Káblový kanálik, prechodový obal kotvy a izolačná doska medzi kotevnou objímkou a roznášacou podložkou sú izolanty a dielektriká. Preto sa najčastejšie meria hodnota „izolačného“ odporu medzi kotevnou objímkou a roznášacou podložkou. S ohľadom na elektrochemické zdroje, prítomné v čerstvej malte (betón má väčšinou v čase predpínania vek aspoň tri dni) sa používa meranie odporu striedavým prúdom s kmitočtom 100Hz alebo 1kHz pomocou „bežného“ merača LCR. O ohľadom na špecifické vlastnosti takýchto prístrojov, odporúčame na meranie elektrických parametrov EIK používať LCR meter ELMA 6400.

4 Certifikačná skúška EIK

Meranie vodivosti (odporu) skúšobného EI kábla.

V rámci certifikačného konania TSUS BA [4] bola vykonaná skúška na 19-lanovom elektrický izolovanom predpínacom kábli, ktorý bol zabudovaný, napnutý a zainjektovaný v železobetónovom tráme rozmerov $500 \times 800 \times 5000\text{mm}$, pozri obr.4.

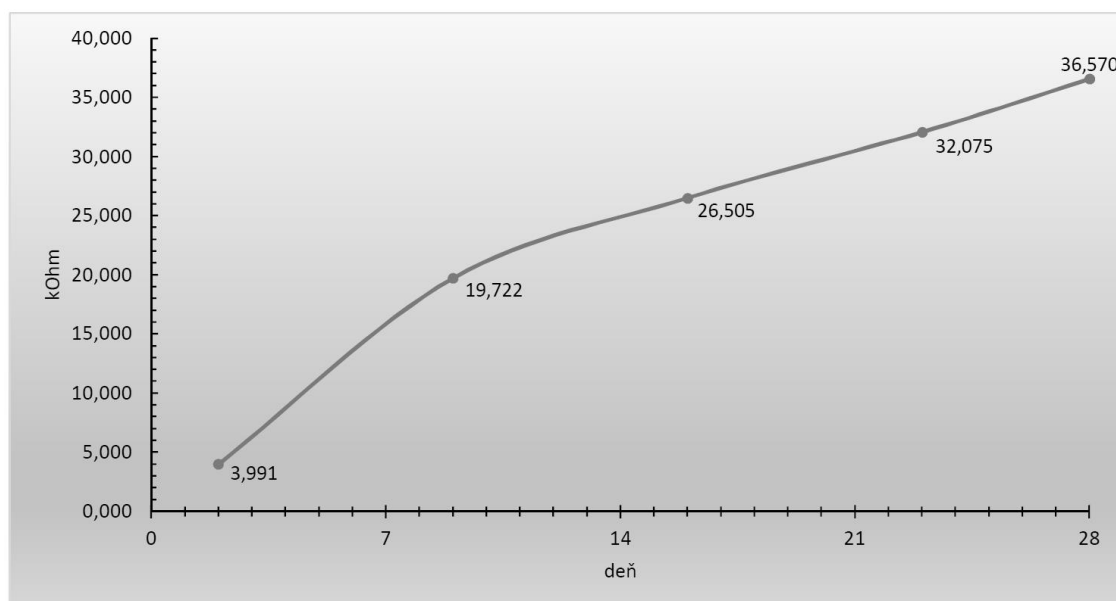


Obr.4 Skúšobný trám so zabudovaným EI 19- lanovým káblom PROJSTAR CH

Merania odporu sa vykonali pomocou LCR meter ELMA 6400 po zostavení kábla, po jeho napnutí a pred a po injektáži cementovou injektážnou maltou a po jej zatvrdnutí. Výsledky týchto meraní sú uvedené v tab.1.

Deň	Dátum	Hodi- na	Udalosť	Odpor R (kΩ)	Merný odpor R (kΩ.m)	Tep- lota T (°C)	Kapa- cita C (nF)	Strato- vý sú- činiteľ D
0	05.10.2016	17:00	Injektáž 19 lanového kábla	----	----			
2	07.10.2016	11:00	Prvé meranie odporu	3,991	19,955	8,0	9,028	22,60
9	14.10.2016	12:30	Druhé meranie odporu	19,722	98,610	5,0	----	----
16	21.10.2016	10:35	Tretie meranie odporu	26,505	132,525	12,0	15,529	3,86
23	28.10.2016	9:30	Štvrté meranie odporu	32,075	160,375	12,2	15,360	3,23
28	02.11.2016	10:30	Piate meranie odporu	36,570	182,850	10,7	15,248	2,85

Tab.1 Meranie izolačného odporu na skúšobnej vzorke trámu.



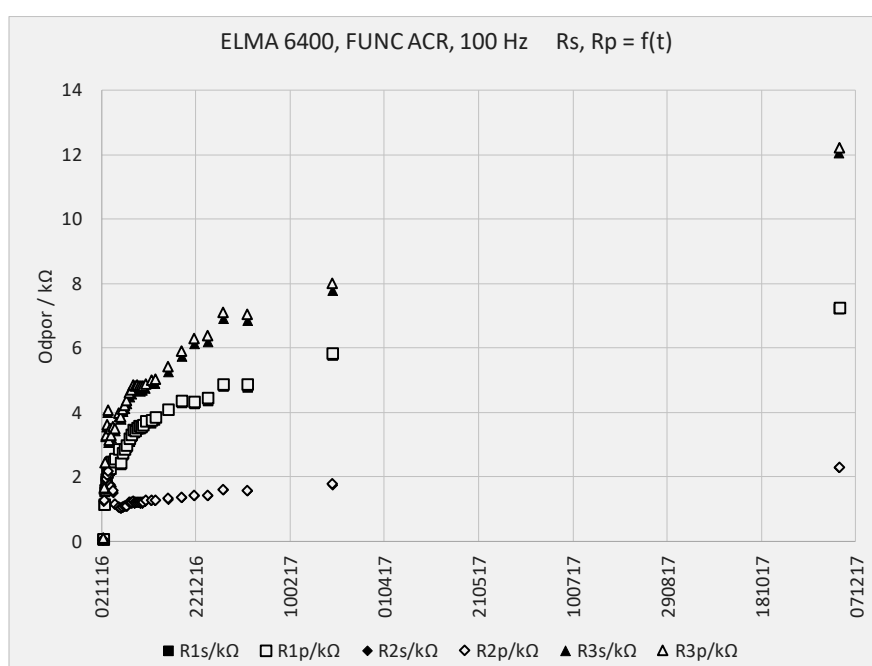
Obr.5 Izolačný odpor R vzorky 19 lanového kábla PROJSTAR CH/EIK

Jedným z prvých dokumentov, ktorý podrobne opisuje problematiku posudzovania a skúšania systémov na dodatočné predpätie konštrukcie, je ETAG 013 z júna 2002 (jestvuje jeho slovenský preklad, TSÚS Bratislava). Pretože metodika merania je v predpise opísaná dosť neurčito, TSÚS použil prístroj v režime merania impedancie kábla, ktorá bola použitá v prácach prof. Elsnera (ETH Zurich). Výsledky spĺňajú kritérium: odpor väčší ako 1kΩ. Problematike EIK sme sa intenzívne venovali teoreticky aj experimentálne (správa [5]).

Jeden zo záverov, ku ktorým sme dospeli: pokiaľ v predpise nie je jednoznačne uvedený postup merania, vrátane použitých prístrojov, sú výsledky merania neporovnateľné a nie je možné aplikovať žiadne kritérium.

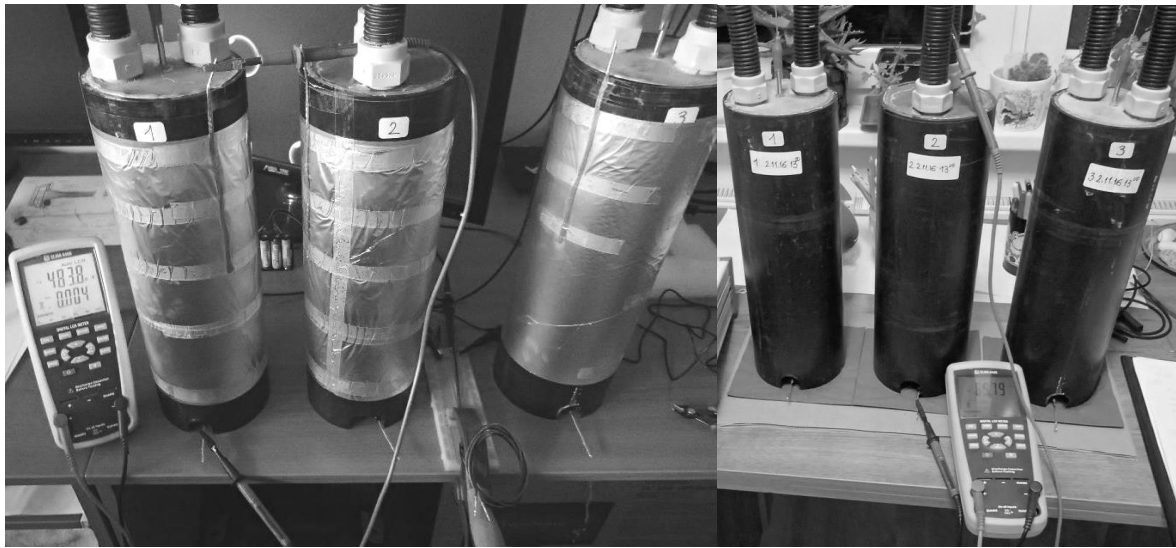
Meranie vodivosti (odporu) injektážnej malty

Nad rámec certifikačnej skúšky sa riešiteľský tím podujal preskúmať časový priebeh vodivosti cementovej injektážnej malty. Na meranie časového priebehu vodivosti malty boli vyrobené tri skúšobné valce s nerezovými elektródami, pozri obr.6. Valce z HDPE rúry boli dňa 2.11.2016 o 13 hod. naplnené injektážnou maltou priamo na stavbe, aby vzorky odpovedali podmienkam injektáže na stavbe. Vzorka 3 bola naplnená maltou z inej zmesi. Vzorky boli uložené pri izbovej teplote a počas prvých dní bol každých 12 hodín meraný ich elektrický odpor. Výsledok dlhodobého merania odporu je znázornený na Obr. 5.



Obr. 5 Časový priebeh nárastu odporu injektážnej malty v uzatvorenom priestore od 2.11.2016 do 28.11.2017. Malta sa chová pri kmitočte 100Hz ako činný odpor.

Ako je vidieť z priebehu na Obr. 5, injektážna malta sa v uzatvorenom priestore chová inak ako voľné trámiky s elektródami, v literatúre bežne používané na meranie časového priebehu elektrického odporu malty. Hodnota elektrického odporu malty má síce stúpajúci trend, nedá sa však tvrdiť, že malta bude po vytvrdnutí nevodivá, čo sa väčšinou zistí na voľných trámikoch. Vnútorne usporiadanie elektród je symetrické, vzorky však boli injektované vo zvislej polohe a krátko po injektáži strávili v tejto polohe asi dvojhodinový prevoz osobným autom. Hneď pri prvých meraniach sa vzorky chovali ako galvanický článok s napätím do 130mV a túto vlastnosť si zachovali doteraz. Výsledky dlhodobého merania odporu injektážnej malty v uzatvorenom priestore (čo EIK je) naznačujú, že chyby pri injektáži EIK, ktoré spôsobia malú hodnotu izolačného odporu, sa časom samé neopravia. Preto je potrebné príprave injektáže EIK venovať zvýšenú pozornosť.



Obr.6 Skúšobné vzorky na meranie odporu injektážnej malty a kapacity voči okolitému betónu (simulovaný Al fóliou).

Výsledky merania kapacity koaxiálneho kondenzátora, tvoreného sústavou betón (vonkajšia elektróda), HDPE rúra (dielektrikum) a injektážna malta (vnútorná elektróda) nepotvrdzujú optimistické štúdie, ktoré sa pokúšajú týmto spôsobom merať kvalitu injektáže EIK.

5 ZÁVERY

Vývoj elektricky izolovaného predpínacieho systému PROJSTAR CH/EIK a jeho certifikácia boli podmienené požiadavkami projektovej dokumentácie železničných mostov na úseku Púchov- Považská Bystrica. Upozorňujeme, že celá táto trasa je napájaná striedavým prúdom. Pri výstavbe Nového mosta vez Váh v Trenčíne postačilo použitie predpínacích káblov elektricky **neizolovaných** typu PL2 (predpínacie laná sú v PE hadiciach). Realizácia EI káblov výrazne predražila cenu predpätia, ale hlavne jeho realizáciu. Toto je hlavný dôvod prečo sa aj „veľmi bohaté štáty“ uspokojili s káblami typu PL2.

Literatúra:

- [1] Quality Control and Monitoring of electrically isolated posttensioning tendons in bridges. Forschungsauftrag AGB 2004/010, Juli 2011
- [2] Zabudovanie a meranie elektricky izolovaných dodatočne predpätých káblov. Podniková technická norma Váhostav-SK, **PTN 87/64.13/16**, Spracovatelia: doc.M.Chandoga,PhD., doc. RNDr. A.Jaroševič,PhD., Ing.L.Čerňanský
- [3] Základné ochranné opatrenia pre obmedzenie vplyvu bludných prúdov na mostné objekty pozemných komunikácií. TP 03/2014. Ministerstvo dopravy a výstavby.
- [4] PROTOKOL O SKÚŠKE č. 20-16-1458. Kotevný systém PROJSTAR CH/EIK 19-lanový elektricky izolovaný kábel zabudovaný do žb. bloku 500 x 800x 5000mm. TECHNICKÝ A SKÚŠOBNÝ ÚSTAV STAVEBNÝ, n. o. Bratislava 11/2016.
- [5] Metóda merania EIK a dlhodobé skúšky vodivosti injektážnej malty. Správa 11/2016. Projstar-PK, Spracovatelia: doc. RNDr. A.Jaroševič,PhD., doc.M.Chandoga,PhD.