

Milan Chandoga – Andrej Jaroševič –
Ladislav Čerňanský – Ľubomír Hrnčiar –
Richard Púček – Jozef Mariňák



Prvý letmo betónovaný most s elektricky izolovaným predpätím na Slovensku

The first free cantilever bridge with an electrically isolated pre-stressing tendons in Slovakia

Súčasťou modernizácie železničnej siete na Slovensku na rýchlosť do 160 km/h sú aj úseky, pri ktorých vzhľadom na zložité hydrogeologické podmienky územia investor a projektant dieľa rozhodli, že všetky predpäté mosty budú mať elektricky izolované predpätie. VÁHOSTAV-SK, a. s., je od roku 2012 držiteľom licencie na predpínací systém PROJSTAR-CH. V rámci prebiehajúcej certifikácie podľa európskej smernice ETAG 013 sa realizovali aj skúšky systému elektricky izolovaného predpätia. V tomto príspevku je predstavená konštrukcia a niektoré výsledky preukazných certifikačných skúšok predpínacieho systému PROJSTAR CH-19/EIK a ich aplikácia in-situ na železničnom moste cez rieku Váh.

Within the Modernisation of the Slovakian Railways for the velocity of 160 km/h, there are sections of railway for which, given the complexity of hydrogeological condition of the area, the investor and the designer have decided that all pre-stressed bridges shall have electrically isolated pre-stressing tendons. Since 2012 VÁHOSTAV-SK, a. s. has held a licence for the pre-stressing system PROJSTAR-CH. In terms of the ongoing certification the tests of the system of electrically isolated pre-stressing tendons were carried out in accordance with the European Directive ETAG 013. This article describes the bridge structure and some results of the certification tests of the pre-stressing system PROJSTAR CH-19/EIK as well as their in-situ application on the railway bridge over the river Váh.

V 90. rokoch sa zrodila kategorizácia káblov predpätia, ktorá poskytuje rôzne stupne konštrukčného riešenia antikorošnej ochrany predpínacej výstuže [1]. Podľa toho, v ktorej kategórii agresivity prostredia sa predpätie nachádza, sa stanovili tieto úrovne ochrany predpínacieho kábla PL (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 krytmí kotvenia, tzv. kábel s kompletným vodotesným obalom,
- PL3 – elektricky izolovaný kábel (EIK). Ide o kábel PL2 doplnený elektroizolačnými prvkami na 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. elektricky izolované káble, pri ktorých možno ochranu predpínacej výstuže proti korózii a bludným prúdom merať pomocou elektrického odporu medzi predpínacou a betonárskou výstužou zabudovanou v betónovej konštrukcii.

Prvý slovenský most s elektricky izolovaným predpätím je navrhnutý ako spojený 5-poľový trám (47,5 + 3 × 65 + 47,5 m) s dvojkomorovým priečnym rezom so šírkou 11,82 m a premennou výškou – 8 m nad podperou a 3 m v strede rozpätia (obr. 1 a 2). Most s označením SO 44-33.18 premostuje rieku Váh a štátnu cestu II/507.

Nosná konštrukcia mosta bola navrhnutá na použitie technológie letmej betonáže. Nad každým pilierom sa vybudovali zárodok s dĺžkou 13 m, z ktorých sa obojstranne realizovalo letným spôsobom šesť lamíel s dĺžkami 2 × 3 + 2 × 4 + 2 × 5 m. Aby sa zabezpečila stabilita vahadla počas letmej betonáže, vybudovali sa pod zárodkami železobetónové stabilizačné stĺpy, spolu šesť stĺpov pre každý zárodok (obr. 4).

In 1990's a categorisation of the pre-stressing tendons has appeared. It provides various stages of the structural design of the anti-corrosion protection of the pre-stressing tendons [1]. Depending on aggressiveness of the surroundings the following protection levels (PL) of the pre-stressing tendons have been designated:

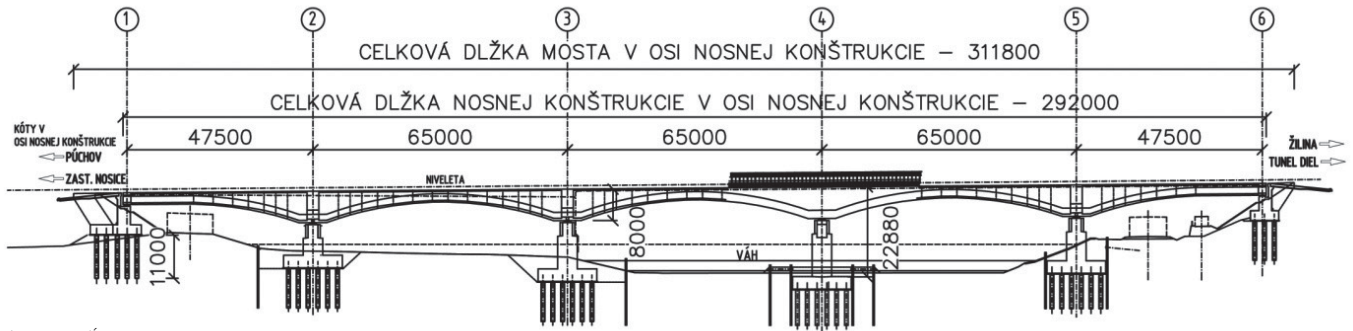
- PL1 – a cement grouted tendon in a duct made of rolled sheet metal, anchorages are concreted without protective cover,
- PL2 – a cement grouted tendon in a PE duct, anchorages have protective covers – so called tendon with an overall waterproof coating,
- PL3 – electrically isolated tendon (EIT). It is PL2 tendon with electro-isolating elements for the protection against stray currents. Its corrosive situation can be monitored by measuring changes in EIT isolation resistance.

The highest level of protection against chlorides as well as stray currents is provided by so called electro-isolating tendons (hereinafter only the EIT). The protection of the pre-stressing tendons against corrosion and the stray currents can be measured by electrical resistance between the pre-stressing tendons and concrete reinforcement contained within the concrete structure.

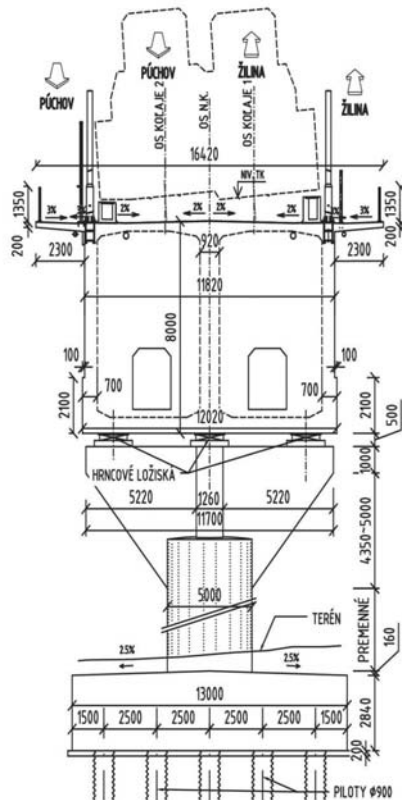
The first Slovak bridge with the electrically isolated pre-stressing is designed as a continuous 5-span beam (47.5 + 3 × 65 + 47.5 m) with a double-box girder cross-section 11.82 m in width and variable height (8 m above the abutment and 3m in the middle of the span), see Fig. 1 and 2. Bridge SO 44-33.18 crosses the river Váh and the state road communication II/507.

The bearing structure of the bridge was designed for the free cantilever method of construction. Pier segments with 13m in length were erected above each pier. From those there were six segments (2 × 3 + 2 × 4 + 2 × 5 m) constructed on both sides by the free can-

doc. Ing. Milan Chandoga, PhD., PROJSTAR-PK, s. r. o., Nad ostrovom 2, 84104 Bratislava, tel.: +421 903 722252, e-mail: projstar@projstar.sk
doc. RNDr. Andrej Jaroševič, PhD., PROJSTAR-PK, s. r. o., Nad ostrovom 2, 84104 Bratislava, tel.: +421 905 917440, e-mail: projstar@projstar.sk
Ing. Ladislav Čerňanský, VÁHOSTAV-SK, a. s., Priemyselná 6, 821 09 Bratislava 3, e-mail: ladislav.cernansky@vahostav-sk.sk
Ing. Ľubomír Hrnčiar, VÁHOSTAV-SK, a. s., Priemyselná 6, 821 09 Bratislava 3, e-mail: lubomir.hrnciar@vahostav-sk.sk
Ing. Richard Púček, VÁHOSTAV-SK, a. s., Hlinská 40, 011 18 Žilina, +421 41 5171595, e-mail: richard.pucek@vahostav-sk.sk
Ing. Jozef Mariňák, VÁHOSTAV-SK, a. s., Priemyselná 6, 821 09 Bratislava, tel.: +421 41 5172016, e-mail: jozef.marinak@vahostav-sk.sk



Obr. 1 Pozdĺžny rez mostom
Fig. 1 Longitudinal section of the bridge



Obr. 2 Priečny rez mostom
Fig. 2 Cross section of the bridge



Obr. 3 Betonáž zárodku a prvých 3 m lamiel na betónovacích vozíkoch
Fig. 3 The concreting of the pier segment and the first 3 segments constructed by the form travellers

Aj keď rekonštruovaná trať, na ktorej sa nachádza tento most, je na celej trase napájaná striedavým prúdom, generálny investor ŽSR vyhodnotil tento úsek ako úsek so zvýšenou hydrogeologickou záťažou a na všetkých mostoch požaduje použitie elektricky izolovaných káblov predpätia.

Na predpätie trámu sa použili 12- a 19-lanové elektricky izolované káble PROJSTAR CH-12-19/EIK rozdelené do troch skupín. Prvú tvoria konzolové káble, ktoré slúžia na predopnutie jednotlivých lamiel počas výstavby vahadiel. V druhej skupine sú káble spojitosti, ktoré slúžia na zmonolitnenie jednotlivých častí nosnej konštrukcie. Tretiu skupinu tvoria voľné káble, ktoré sa predopnú po zmonolitnení celej nosnej konštrukcie.

Konštrukcia elektricky izolovaného kábla

Základná konštrukcia elektricky izolovaného súdržného kábla vychádza z konštrukcie kábla kategórie LP2. Na vonkajšej dĺžke je predpätná výstuž primárne chránená PE extrudovanou hadicou. Na elektrickú izoláciu predpätnacej výstuže v roznášacích podložkách je použitý PE kužeľ a izolačná vysokopevnostná doska (obr. 5). Pri voľných kábloch je PE hadica nahradená HDPE rúrou. PE ochranný kryt kotvenia má vývod na pripojenie vodiča na meranie elektrického odporu kábla (obr. 6).

tilever method. To ensure the stability of the bridge saddle during construction there were temporary stabilising reinforced-concrete columns erected beneath the pier segment. In total there were six columns at each pier segment (Fig. 4).

Although the reconstructed railway on which this bridge is located is entirely supplied with alternating current, the general investor ŽSR evaluated this section as a section with an increased hydrogeological risk and thus the use of the electro-isolated pre-stressing tendons is required.

To pre-stress the girder the 12 and 19 ropes electro-isolated tendons PROJSTAR CH-12-19/EIT were divided into three groups. The first group are cantilever tendons which serve to pre-stress the individual segments during construction of the bridge saddle. The second group are continuous tendons, the purpose of which is to pre-stress the parts of the bearing structure together. The third group are external tendons which are pre-stressed once the entire bearing structure is built.

Electro- isolated tendon structure

The basic structure of electro- isolated bonded tendon is based on the structure of the tendon category LP2. The loose length of pre-stressing tendons is primarily protected by PE extruded duct. In order to provide electrical isolation of the pre-stressing tendons in the



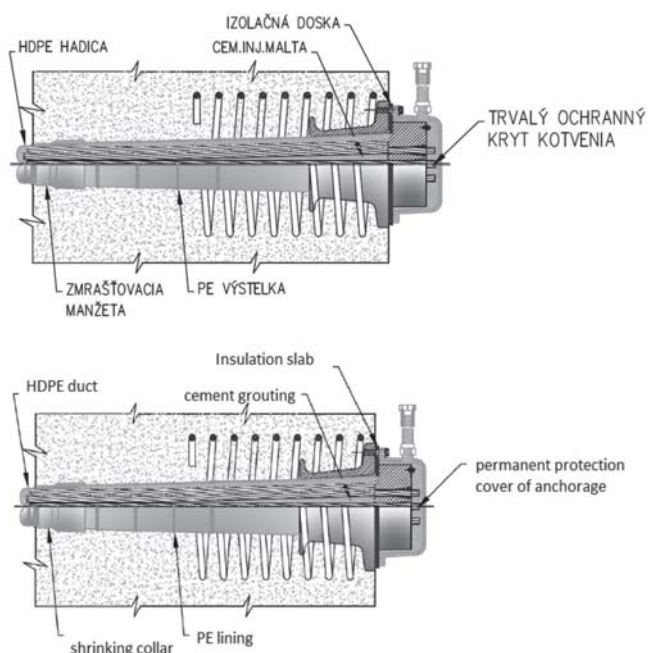
Obr. 4 Pohľad na rozostavaný most
Fig. 4 A view of the bridge under construction

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 výrazne pod 1Ω . Na vyvedenie „meracích bodov“ stačí dobre izolovaný medený drôt (aspoň 1 mm^2 z dôvodu mechanickej pevnosti), ktorý treba priskrutkovať cez „vejárovitú“ podložku ku kotevnej objímke aj roznášačej 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.



Obr. 5 Konštrukcia EIK pre súdržné káble systému PROJSTAR-CH/EIK
Fig. 5 EIT structure for bonded tendons of the system PROJSTAR – CH/EIT

bearing plates, there is a PE cone and an isolating high-strength slab (Fig. 5). For external tendons the PE duct is replaced by a HDPE pipe. The PE anchorage protection cover has an outlet for connecting a device measuring electric resistance of tendons (Fig. 6).

General information on measurement of the electric parameters of EIT Pre-stressing tendon

It is a good electric conductor and one of its basic properties is its electric resistance R (Ω), which is usually far below 1Ω . The “measuring points” are outlet by a well- isolated copper wire (at least 1 mm^2 to ensure the mechanical strength), which must be screwed through the “fan-shaped” pad to the anchor head and the bearing plate. When carrying out the measurement it is recommended to have the both measurement points next to each other.

Cement grouting

It is not an insulation, the electrical resistance of cement grouting samples (taken at the time of grouting) is around $40 \Omega \cdot \text{m}$ measured four weeks after grouting. As compared to the measured resistance of iron ($9,8 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$), the grouting has nearly nine times greater resistance.

Tendon duct, transmission anchorage cover and isolation slab

Tendon duct, transmission anchorage cover and isolation slab between the anchorage clip and the bearing plate are insulations and dielectrics. For this reason the most commonly measured value is the “isolating” resistance between anchor head and bearing plate that has been welded to concrete reinforcement.

Certification test of the EIK

The measurement of conductivity (resistance) of the tested electrically isolated tendon

In the scope of certification procedure TSUS BA [4], a test of 19-strands electrically isolated pre-stressing tendon was carried out. The tendon was built-in, pre-stressed and grouted within a reinforced concrete beam ($500 \times 800 \times 5\,000 \text{ mm}$), see Fig. 9.

The measurements of resistance were carried out using LCR meter ELMA 6400: firstly, after it had been assembled, secondly after it had been pre-stressed and once before and once after the grouting and solidifying of cement mortar. The results of these measurements are presented in Fig. 10.



Obr. 6 Ochranný kryt kotvenia s vodičom na meranie elektrického odporu
Fig. 6 Protective cover of anchorage with conductor for the measurement of electric resistance

Káblový kanálik, prechodový obal kotvy a izolačná doska

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, ktorá je priradená k betonárskej výstuži.

Certifikačná skúška EIK

Meranie vodivosti (odporu) skúšobného EI kábla

V rámci certifikačného konania TSÚS BA [4] sa vykonala skúška na 19-lanovom elektrickom izolovanom predpínacom kábli, ktorý bol zabudovaný, napnutý a zainjektovaný v železobetónovom tráme s rozmermi 500 × 800 × 5 000 mm (obr. 9).

Merania odporu sa vykonali pomocou LCR metra ELMA 6400 po zostavení kábla, jeho napnutí, pred a po injektáži cementovou injektážnou maltou a po jej zatvrdnutí. Výsledky týchto meraní sú uvedené na obr. 10.

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 sa vyrobili tri skúšobné valce s antikoroovými elektródami (obr. 12). Valce z HDPE rúry sa naplnili injektážnou maltou priamo na stavbe, aby vzorky zodpovedali podmienkam injektáže na stavbe. Vzorka 3 sa naplnila maltou z inej zmesi. Vzorky boli uložené pri izbovej teplote a počas prvých dní sa meral ich elektrický odpor každých 12 hodín. Výsledok dlhodobého merania odporu je znázornený na obr. 11.

Ako vidieť z priebehu na obr. 11, injektážna malta sa v uzatvorenom priestore správa 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 nevodiť, čo sa väčšinou zistí na voľných trámikoch. Vnútorne usporiadanie elektród je symetrické, vzorky však boli injektované vo zvislej polohe. Hneď pri prvých meraniach sa vzorky správali ako galvanický článok s napätím do 130 mV 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 spôsobujú malú hodnotu izolačného odporu, sa časom samy neopravia. Preto treba príprave injektáže EIK venovať zvýšenú pozornosť.

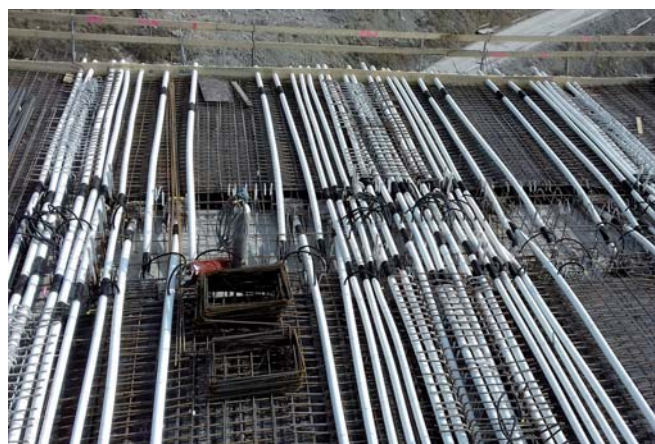
Výsledky merania kapacity koaxiálneho kondenzátora, tvoreného sústavou betón (vonkajšia elektróda), HDPE rúra (dielektrikum) a injektážna malta (vnútorná elektróda), nepotvrďujú optimistické štúdie, ktoré sa pokúšajú týmto spôsobom merať kvalitu injektáže EIK.

Záver

Realizácia elektricky izolovaného súdržného predpätia in situ si vyžaduje perfektné plánovanie a pracovnú disciplínu od všetkých pracovníkov. Realizácia EI káblov výrazne predražuje cenu predpätia.



Obr. 7 Meranie elektrického odporu kábla pred injektážou
Fig. 7 Measuring of tendon's electric resistance before grouting



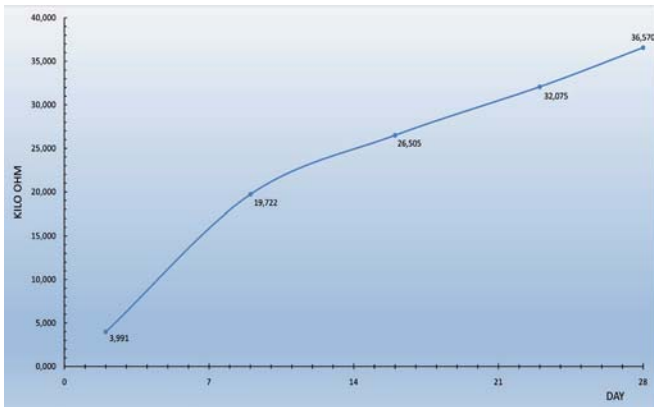
Obr. 8 Ukladanie PE hadíc injektovaného predpätia
Fig. 8 Laying of the PE ducts for the grouted tendons



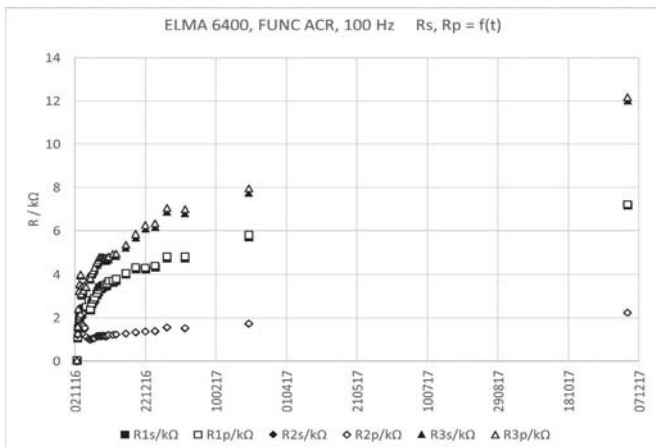
Obr. 9 Skúšobný trám so zabudovaným EI 19-lanovým káblom PROJSTAR CH
Fig. 9 Testing beam with the built-in electrically isolated 19-strands tendon PROJSTAR CH

Measuring of electric conductivity (resistance) of the cement grouting

Apart from the certification test the team undertook to investigate the time course of the conductivity of the cement grouting. In order to do so, the three cylinders with stainless steel electrodes were manufactured (Fig. 12). The cylinders made of HDPE pipe were filled by cement grouting directly on site to establish the same conditions as the real grouting on site. The sample no.3 was filled by different mixture of cement mortar. The samples were kept at the room tem-



Obr. 10 Izolačný odpor R vzorky 19-lanového kábla PROJSTAR CH/EIK
 Fig. 10 Isolated resistance R of the sample taken on 19-strands tendon PROJSTAR CH/EIK



Obr. 11 Časový priebeh nárastu odporu injektážnej malty v uzavretom priestore od 2. 11. 2016 do 28. 11. 2017. Malta sa správa pri kmitočte 100 Hz ako činný odpor.
 Fig. 11 Time course of the resistance growth of the cement grouting in enclosed space from 2.11.2016 until 28.11.2017. At 100 Hz the mortar behaves as an active resistance.

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 predpäťých 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 SR.
4. PROTOKOL O SKÚŠKE č. 20-16-1458. Kotevný systém PROJSTAR CH/EIK, 19-lanový elektrický izolovaný kábel zabudovaný do žb. bloku 500 × 800 × 5 000 mm. 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.

perature and their electric resistance was measured every 12 hours during the first days. The result of the long-term measurement of resistance is presented in Fig. 11.

As can be seen in Fig. 11 the cement mortar behaves differently in enclosed space than the free joists with electrodes that are frequently used in literature to measure the time course of the electric resistance of cement mortar. Although the value of the electric resistance of cement mortar has increasing tendency, it cannot be claimed that the cement mortar, once solidified, will be conductive. This is what usually happens with the free joists. The inner layout of the electrodes is symmetric, although the samples had been grouted in vertical position. Right at the first measurements the samples behaved as a galvanic cell with voltage of up to 130 mV and they have remained so until today. The results of the long-term measurement of the resistance of cement grouting in enclosed space (such as the EIT) indicate that the errors made at the time of grouting, which cause the low isolation resistance, cannot be corrected in time by themselves. Therefore, an increased attention needs to be paid to preparation of the EIT grouting.

The results of the capacity measurement of the coaxial capacitor, formed by concrete (outer electrode), HDPE pipe (dielectric) and cement grouting (inner electrode) do not support the optimistic research, which intends to apply this way to measure the quality of the EIT grouting.

Conclusions

The development of the electrically isolated pre-stressing system PROJSTAR CH/EIT and its certification depended on the requirements of the design documentation of the railway bridges in section Púchov – Považská Bystrica. It must be mentioned that this entire railway route is fed by alternating current. At the time of construction of the New bridge over the river Váh in the town of Trenčín the use of electrically non- isolated pre-stressing tendons of type PL2 was sufficient (pre-stressing strands are in the PE ducts). Incorporation of the EI tendons will significantly increase the cost of pre-stressing, especially its execution. Therefore, this is the main reason why even the “rich countries” continue to use the type PL2 tendons.

References

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 predpäťých 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 SR.
4. PROTOKOL O SKÚŠKE č. 20-16-1458. Kotevný systém PROJSTAR CH/EIK, 19-lanový elektrický izolovaný kábel zabudovaný do žb. bloku 500 × 800 × 5 000 mm. 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.



Obr. 12 Skúšobné vzorky na meranie odporu injektážnej malty a kapacity oproti okolitému betónu (simulovaný Al fóliou)



Fig. 12 Test samples for measurement of the resistance of cement grouting and the capacity against surrounding concrete (simulated by Al foil)