



**ZASTOSOWANIE LOKALNEJ OCHRONY KATODOWEJ
PRZED DZIAŁANIEM PRĄDÓW BŁĄDZĄCYCH
NA MOŚCIE TRAMWAJOWYM BALABENKA OHRADA**

**APPLICATION OF LOCAL CATHODIC PROTECTION
FROM STRAY CURRENTS
ON THE BALABENKA OHRADA TRAM BRIDGE**

Ing. Bohumil Kučera

JEKU s.r.o, Praha

Słowa kluczowe: most żelbetowy, prądy błądzące, ochrona katodowa, przepisy
Keywords: reinforced concrete bridge, stray currents, cathodic protection, rules

Streszczenie

Praca dotyczy weryfikacji przepisów dotyczących ochrony budowli przed działaniem prądów błądzących i następnie zastosowania lokalnie ochrony katodowej celem wyeliminowania prądów błądzących na jednej z podpór obiektu mostowego. Przeanalizowane zostały wyniki badań potencjałów w różnych częściach konstrukcji mostowej. Przeanalizowana także ryzyko uszkodzenia konstrukcji żelbetowej wskutek niewłaściwego zastosowania ochrony katodowej. Ochronę zastosowano na moście tramwajowym krzyżującym się z trakcją elektryczną kolei w Pradze.

Summary

Presentation deals with revision of standards for stray currents protection and application of cathodic protection for reinforced bridge against stray current effects applied only on one pillar. The results are analyzed with regards to existing potential situations on various parts of bridge construction. The risks of construction damaging construction by wrong protection system are analyzed too. Active protection is applied on tram bridge crossing electric rails in Prague.

Investigations have been carried within the European grant research project FT-TA/047 "Optimalization of material selection and application of corrosion protection principles for technological equipments and products" in 2006 year.

Praca wydrukowana została w języku czeskim.

Anotace:

Přednáška pojednává o zkušenostech s návrhem a realizací katodické ochrany pouze pro jednu podporu velké mostní stavby. Jsou hodnocena rizika spojená s majetkoprávním řešením, technickým řešením, rizikem poškození stavby a nároky na provoz zařízení.



1. Úvod

Problematika aplikace aktivních ochranných systémů proti účinkům bludných proudů při řešení ochrany železobetonových konstrukcí je již řadu let diskutována se značnými obavami o poškození výztuže konstrukcí, zejména předpjatých. V následujícím příspěvku je popsán návrh řešení katodické ochrany realizovaný v rámci úkolu „Projekt FT-TA/047 Optimalizace materiálového řešení a aplikace principů protikorozní ochrany technologických zařízení a výrobků“ pro lokální katodickou ochranu, tj. ochranu aplikovanou pouze na část mostní konstrukce. Pro řešení byla zvolena stávající stavba, která je dlouhodobě monitorovaná z hlediska vlivu bludných proudů. Cílem úkolu bylo a je odpovědět na základní otázku, zda katodická ochrana proti účinkům bludných proudů má vůbec smysl, jedná-li se o efektivní ochranu stavby nebo pouze nevhodně zavedené riziko, které může poškodit stavbu.

2. Aktivní – katodická – ochrana ve vztahu k železobetonovým konstrukcím

Zatímco katodická ochrana proti chemickým vlivům doznala mimo území ČR svého uznání a byla postupně v minulých dvou desetiletích standardizována jak v zámoří tak na evropském kontinentu¹, v ČR, přestože standard byl převzat, je k této ochraně pohlíženo se značnými obavami a despektem a nepodařilo se doposud ji realizovat.

¹ ČSN EN 12 696.

Katodická ochrana proti účinkům bludných proudů, v té podobě, jak ji známe z aplikací při ochraně liniových zařízení (plynovodů a vodovodů), není na železobetonových konstrukcích zavedena a krom nekonečných více či méně odborných diskusí nejsou s touto ochranou žádné zkušenosti z praxe. Jak však ukazují obecné poznatky o vlivu cizích elektrických polí na železobetonové konstrukce, jedná se o řešení značně komplikované a v některých případech i rizikové. Tyto obavy byly shrnuty v zavedeném standardu MD ČR² a podmínky pro instalaci jakékoliv aktivní (tedy i katodické) ochrany byly značně ztíženy. Zavedená metodika popisuje velmi pečlivě, co všechno musí být diagnostikováno před rozhodnutím o instalaci katodické ochrany. Jedná se o řadu měření zejména elektrických parametrů – tj. především standardní měření vlivu bludných proudů dle platné metodiky DEM³. Tato měření se pak doplňují dalšími podpůrnými měřeními prováděnými v rámci diagnostiky mostních staveb vypovídajícími o stavu betonu a výztuže.

V ideálním případě tak, jak je standardizováno, je podkladem pro návrh aktivní – katodické ochrany součinnost standardní diagnostiky mostní stavby doplněná o měření vlivu bludných proudů.

Ukazuje se však, že tento postup nemusí vést ke kýženému cíli včas. Důvodem je skutečnost, že měření vlivu bludných proudů poskytuje informaci o okamžitém (a zpravidla trvalém) korozním namáhání cizími elektrickými poli, aniž by ještě mohlo ke korozním procesům docházet, zatímco budeme-li očekávat rozhodující informaci z výstupu diagnostiky mostu, tj. standardní měření a vyhodnocení dle platných metodik⁴, budeme čekat až na projevy korozních procesů. Zde se zdá, že nastavená přísná kritéria do určité míry mohou blokovat nasazení aktivní ochrany včas.

3. Aplikace katodické ochrany

Pro aplikaci katodické ochrany, tj. osazení anod mimo železobetonový prvek nebo konstrukci, volbu zdroje a propojení systému je nutno analyzovat řadu faktorů.

Především je nutno definovat základní požadavky pro návrh pasivních ochranných opatření a aktivní ochrany proti účinkům bludných proudů, jejichž cílem je minimalizovat korozní účinky bludných proudů i vnucených zdrojů. Aktivní – katodickou ochranu je nutno navrhovat s těmito záměry:

1. Eliminovat anodická pásma stavby, která jsou způsobena (silnými) cizími elektrickými poli a ve kterých by mohlo z jakýchkoliv důvodů docházet ke korozním procesům katalizací bludnými proudy.
2. Nastavit ochranný potenciál stavby tak, aby vliv bludných proudů byl eliminován na přijatelné minimum.
3. Zavést ochranný potenciál takovým způsobem, aby zdroj katodické ochrany byl schopen reagovat na dynamické změny trakčních soustav, a to nejen ve smyslu eliminace trakčních zpětných proudů, ale především také, aby sám zdroj ochrany při absenci dynamických složek trakčních proudů konstrukci neohrozil.

² TP 124.

³ Metodický pokyn MD ČR „Dokumentace elektrických a geofyzikálních měření betonových mostů pozemních komunikací“.

⁴ např. TP 121 nebo návrh TP na predikci životnosti železobetonových konstrukcí.

4. Definovat (alespoň pro účely ověření) ochranný potenciál v závislosti na parametrech stavby, zejména s ohledem na přítomnost chloridových iontů a pH konstrukce a zjištěný vliv bludných proudů.
5. Katodická ochrana musí být schopna kdykoliv a průběžně poskytovat informaci o svoji funkci, tj. stanovují se požadavky na kontrolu stavu ochrany, sběr dat a historii funkce s požadavkem na bezobslužný provoz.
6. Katodická ochrana může být uvedena do provozu jen na takové konstrukci, kde je zaručeno elektricky definované pospojení výztuže.

Krom stanovených požadavků je nutno při řešení návrhu také najít řešení na řadu otázek spojených s její realizací. Jedná se zejména o zjišťování pH, volbu rozsahu ochrany, rozdílných chemických vlivů na konstrukci, atd.

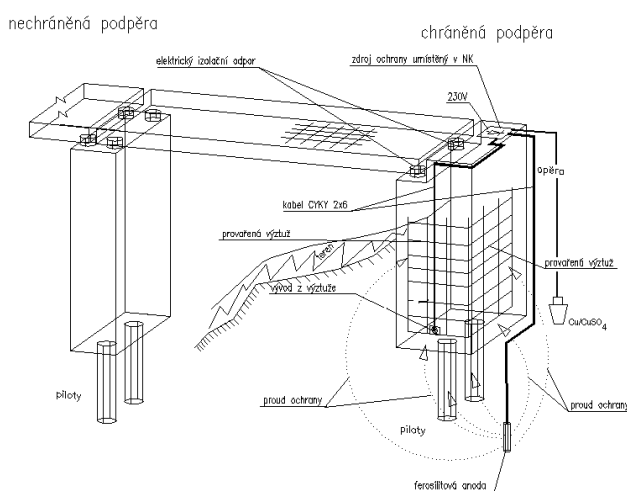
4. Princip katodické ochrany proti účinkům bludných proudů

Princip ochrany je obdobný řešení známému z liniových zařízení, tj. ve vztahu k rozměru stavby se navrhuje umístění anod z vhodného materiálu, vývody z provařené výztuže chráněné konstrukce jsou vyvedeny do měřicích – napájecích bodů a odtud napájecími kabely do řízeného zdroje. Rovněž z anod jsou vedeny napájecí kabely do řízeného zdroje.

Zdroj vyhodnocuje referenční napětí mezi vhodnou referenční elektrodou (např. gelovou Cu/CuSO_4) a vývodem z výztuže konstrukce. Zjištěné napětí musí splňovat kriterijní hodnotu, která je zadána jako pevný parametr. Druhým parametrem musí být kontrola proudu tak, aby nebyly překročeny povolené meze pro proudovou hustotu, která by mohla iniciovat korozní procesy.

Zdroj je řízen v čase a musí být dostatečně rychlý na změny dynamických složek bludných proudů a udržovat ochranný potenciál konstantní.

Schematicky je řešení uvedeno na přiložených obrázcích.



Obr. 1. Schematické zapojení katodické ochrany pro záměr lokální aplikace katodické ochrany na část konstrukce

5. Realizace katodické ochrany

5.1. Příprava výztuže k připojení katodické ochrany

Při kontrolních měřeních na obnažené výztuži bylo zjištěno, že ani jedno z nově obnažených míst na spodní stavby nevykazuje stav neprovařenosti výztuže, všechny kontrolované body (cca 10 bodů) byly elektricky definovaně pospojeny (hodnoty měřeného elektrického odporu na přístroji GEOHM C a ABB M5020 byly menší než 0,02 ohmu).

Z patky pilíře bylo vyvedeno celkem šest vývodů pro napájení zdrojem katodové ochrany, a to ze třech přístupných stran patky dle níže uvedených obrázků. Obnažení patky ze strany čtvrté prakticky nebylo proveditelné, a to jednak z důvodu záporové larsenové stěny, jednak terénních poměrů a jednak postupu terénních úprav stavby. Čili bylo nutno respektovat reálný stav a podmínky pro instalaci ochrany v terénu.

Pro první indikaci rozložení potenciálu ve vertikálním směru se používá snímání z původního vývodu z výztuže, který je ve výšce cca 2m nad patkou, tedy nad místem napájení vůči připraveným vývodům z patky podpěry.

5.2. Instalace a návrh anod

Návrh počtu a typu anod byl proveden výpočtem. Původní záměr instalovat pouze jednu anodu u pilíře byl opuštěn jako řešení ne zcela funkční, ale i z důvodu dalších možností zkoumání chování systému. Na druhou stranu, původně navržený počet šesti až osmi anod byl přehodnocen a byly instalovány pouze dvě anody na každé delší straně patky, tj. celkem čtyři kusy FeSi anody o délce 1m.

Měrný odpor půdy v místě instalace anod a chráněného předmětu.

Měrný odpor půdy byl zjištěn dodatečnými průzkumy při měření vlivu bludných proudů – viz výsledky uvedené v předchozích částech úkolu.

ρ pro ekvivalentní hloubku 0,75 až 1,25 m = 50 Ω m,

ρ pro ekvivalentní hloubku 2,25 až 3,75 m = 22 \div 25 Ω m,

ρ pro ekvivalentní hloubku 3,75 až 6,25 m = 12 \div 22 Ω m.

Požadovaný posun potenciálu je navržen 300 až 600mV; rozsah je stanoven dříve měřeným směsným potenciálem⁵ u jednotlivých podpěr. Obvykle byl zjištěn měřený potenciál na úrovni –200 až –400mV proti nepolarizovatelné referentní sondě Cu/CuSO₄. Za dostatečný ochranný potenciál se považuje v souladu s dříve uvedenými skutečnostmi potenciál –0,65 až –0,85 mV proti elektrodě Cu/CuSO₄⁶, požadovaný posun potenciálu je rozdílem obou intervalů.

Dimenzování proudového zatížení anod

Pro dimenzování proudové kapacity se vychází z prvních praktických zkušeností s aplikací anody na železobetonovou konstrukci; při návrhu systému pro celou mostní konstrukci lávky v Srbsku ochranný proud nepřekročil 1 A.

⁵ Viz technické podmínky TP 124, potenciál výztuže podpěry proti blízké referentní reelektrodě Cu/CuSO₄ bez vyloučení chyby IR spádu.

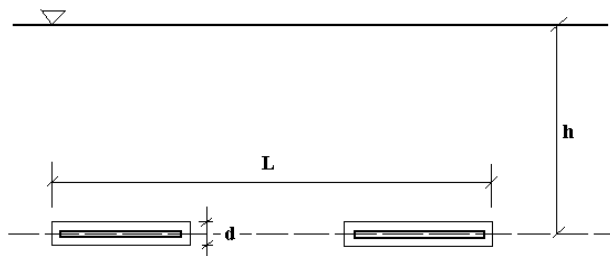
⁶ V dalším textu se vždy rozumí potenciál vůči elektrodě Cu/CuSO₄, nebude již uváděno.

Jmenovitý proud navržené elektrody je 500mA. Volba čtyř elektrod z důvodu homogenity poměrně velkého základu je tak relevantní po všech stránkách. Je otázkou dalšího ověřování, zda bude k provozu postačovat menší počet elektrod.

Navržené anody

Pro dané podmínky jsou navrženy balené FeSi tyče. Uzemňovací anoda bude sestávat jen ze 4 ks balených FeSi tyčí (1 tyč o hmotnosti cca 8 kg, \varnothing 40 mm a délky 845 mm – ve výpočtu použito 1 m – zahrnut i koksový obal do 1 m). Vnější plášť obalu je tvořena ocelovým plechem o tloušťce 0,55 mm.

Anody jsou uloženy v hloubce min. 2m, tj. pod úrovní spodní hrany patky podpěry (spodní stavba sestává z pilot a patky).



Obr. 2. Schematické uložení anod v řezu

Výpočet zemního odporu anody:

$$R = \frac{\rho}{2xL} \ln \frac{2L}{d} \sqrt{\frac{4h+3L}{4h+L}}; L > d \quad (1)$$

$$h = 2 \text{ m}$$

$$L = 6 \text{ m}$$

$$d = 0,15 \text{ m}$$

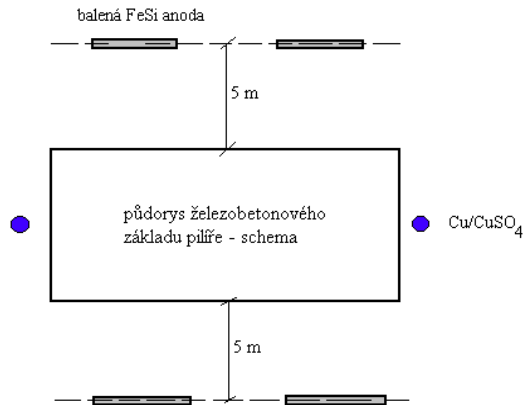
$$\rho = 23,5 \Omega\text{m}$$

$$R = 3,7 \Omega$$

Zpřesnění odhadu dovoleného proudového zatížení jedné podpěry s ohledem na plochu výztuže.

Do výpočtu lze započítat i piloty pod patkou. Dále s ohledem na zvýšení bezpečnosti byla dovolená proudová hustota zmenšena na 30mA/m² – tedy pod spodní mez intervalu 40 až 60mA/m² tak, jak jsou tyto údaje dostupné z již dříve citovaných literárních pramenů.

Proud katodové ochrany s ohledem na povahu chráněné konstrukce by neměl překročit 3,4A. S ohledem na dosažené praktické zkušenosti byl osazen jeden zdroj s kapacitou 1 až 10A, avšak regulací omezený na kapacitu 1 až 1000 mA. Řešení vychází z doposud získaných poznatků v praxi.



Obr. 3. Schematické uložení anod v půdorysu – definitivní návrh

V místě podpěry č.5 se vyskytuje záporová stěna v blízkosti podpěry (cca 1m od patky) z doby výstavby. Tato stěna byla využita pro zkušební měření jako případ zcela poškozené a obnažené výztuže v zemi a bylo provedeno měření, kdy záporová stěna byla chráněna společně s podpěrou č.5.

Následující obrázky dokumentují postup výstavby a realizaci ochrany v terénu. (Předpokládá se skutečný proud na úrovni cca 0,2 až 0,5A).



Obr. 4. Výkop jámy pro anody, hl.2,2m pod úrovní stávajícího terénu. Terén je v konečné podobě zvýšen o další cca 0,5 až 1m. Kabely jsou uloženy v chráničkách, svorkování je provedeno v krabici a chráněno silikonem



Obr. 5. Uložení kabelových vedení na pilíři. Kabely jsou uloženy v ocelových trubkách z důvodu ochrany před zloději. Vše je zakryto sanačním nátěrem (vedení jsou na zadním pilíři)



Obr. 6. Umístění rozvaděče katodické ochrany v tubusu mostu. Rozvaděč je vybaven zabezpečovacím kontaktem a bezpečnostním zámekem

6. Ověřování funkčnosti systému katodické ochrany

6.1. Uvedení zařízení do provozu

Funkčnost zařízení byla prvotně testována ve výrobě jako celek, a to jak naprázdno, tak se zatížením. Ve výrobním závodě byly nastaveny zdroje, seřízena regulace proudu a napětí. Na místě, po osazení rozvaděče, bylo nutno ověřit kvalitu propojení všech vodičů, byly zkoušeny potenciály vůči elektrodě Cu/CuSO₄. Před zahájením funkce zařízení byla provedena kontrolní měření potenciálů u jednotlivých podpěr a bylo ověřeno elektrické pole v zemi. Tato měření sloužila pro porovnání a ověření hodnot dříve měřených.

6.2. Kontrolní měření před uvedením do provozu

Před zapnutím bylo nutno ověřit výchozí parametry mostní stavby a okolí tak, aby bylo možné po aktivaci ochrany vyhodnocovat změny.

Tabl. 0. Přehled směšných potenciálů od roku 1993 do roku 2006

Pilíř, opěra č.:	Průměrná hodnota potenciálu U_z [mV]				hodnocení
	rok 1993	rok 1995	rok 2000	rok 2006 před zapnutím KO	
OP1	–	–137,44	-318,4	zničený vývod	
P2	–38	–74,94	-421,8	zničený vývod	
P3		–	-214,4	–330	zlepšení
P4	–139	–127	-59,4	nepřístupný - stavba	
P5	–	–	-369,2	–233	zhoršení
P6	–16	–73,72	-19,2	–14	zhoršení
P7	–	–	-219,2	–182	zhoršení
P8	–	–	-349,8	–365	zlepšení
P9	–	–310,59	-272,8	–281	zlepšení
P10	–	–364,47	-217,6	–119	zhoršení
P11	–224	–	-289,4	–215	zhoršení
P12	–417	–	-231,2	–282	zlepšení
OP13	–450	–	-291	–315	zlepšení

Měření opakovaně prokazují, že je správná péče o oblasti pilířů P4, P5 a P6, když pilíře P4 a P6 jsou v době realizace katodové ochrany nepřístupné. Pilíř P6 je pilířem nejbližší trati ČD.

Dodatečný průzkum

Z průzkumu je patrné, že od doby měření před sedmi lety se výrazně zvýšil spád napětí ve směru mostu, zatímco kolmá složka spádu napětí (intenzity elektrického pole) k mostní stavbě je minimální.

Z hlediska hustot bludných proudů platí, že mostní stavba je namáhána více než tomu bylo do roku 2000 zejména v oblasti podpěr P4 a P5. Na obou koncích ke změně velikosti elektrického pole v zemi nedošlo.

Je nutno poznamenat, že změnou terénních podmínek – výstavba mostních objektů a koridoru došlo k rozsáhlým terénním úpravám. V dané lokalitě však rozhoduje menší měrný odpor ve větších hloubkách. Tyto hodnoty se změnily jen minimálně, došlo k mírnému zvýšení měrného odporu půdy (z 10 až 22 Ωm na 14 až 24 Ωm).

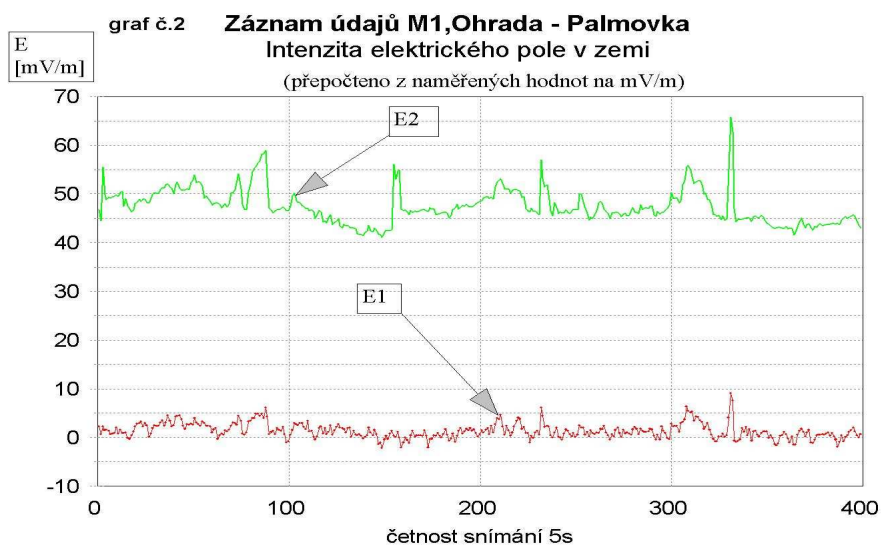
tab.4 Zdaňlivý měrný odpor půdy v místech stanoviště M1, M2, M3						
podmínky: zataženo, 9 st.C, zem vlhka po dešti, zem s navázkou						
datum měření: 4.11. 2006						
bod M1		GEOHM				
vzdál. elektrod	R [ohm]	rozsah [ohm]	koeficient	ρ_0 [ohm.m]	Stupeň agresivity	
1	8.4	20	0.8	42.2	III.	
3	2.3	20	0.8	34.7	III.	
5	1.0	20	0.8	24.6	IV.	
bod M2		GEOHM				
vzdál. elektrod	R [ohm]	rozsah [ohm]	koeficient	ρ_0 [ohm.m]	Stupeň agresivity	
1	6.3	20	0.8	31.7	III.	
3	1.2	20	0.8	18.1	IV.	
5	0.7	20	0.8	17.3	IV.	
bod M3		GEOHM				
vzdál. elektrod	R [ohm]	rozsah [ohm]	koeficient	ρ_0 [ohm.m]	Stupeň agresivity	
1	9.8	20	0.8	49.0	III.	
3	1.4	20	0.8	21.1	IV.	
5	0.6	20	0.8	14.3	IV.	

tab.5 Výpočet pole bludných proudů v místech M1, M2, M3								
		četnost [%]	Ep [mV.m-1]	směr [st.]	ρ_0 [ohm.m]	I [A.m-2]	stupeň agresivity	
M1	I.kv	++	85.7	47.9	87.9	24.6	1.95E-03	IV.
	II.kv	- +	14.3	45.0	90.9	24.6	1.83E-03	IV.
	III.kv.	--	0.0	0.0	0.0	24.6	0.00E+00	-
	IV.kv.	+ -	0.0	0.0	0.0	24.6	0.00E+00	-
M2	I.kv.	++	34.8	25.7	88.4	17.3	1.48E-03	IV.
	II.kv	- +	18.0	30.3	90.6	17.3	1.74E-03	IV.
	III.kv.	--	14.0	31.7	269.6	17.3	1.83E-03	IV.
	IV.kv.	+ -	33.2	28.1	271.4	17.3	1.62E-03	IV.
M3		++	78.7	30.0	88.4	14.3	2.10E-03	IV.
	II.kv	- +	21.3	30.1	90.7	14.3	2.10E-03	IV.
	III.kv.	--	0.0	0.0	0.0	14.3	0.00E+00	-
	IV.kv.	+ -	0.0	0.0	0.0	14.3	0.00E+00	-

Pozn.: Zjištěné proudové hustoty jsou značně vysoké a odpovídají blízkým trakčním soustavám

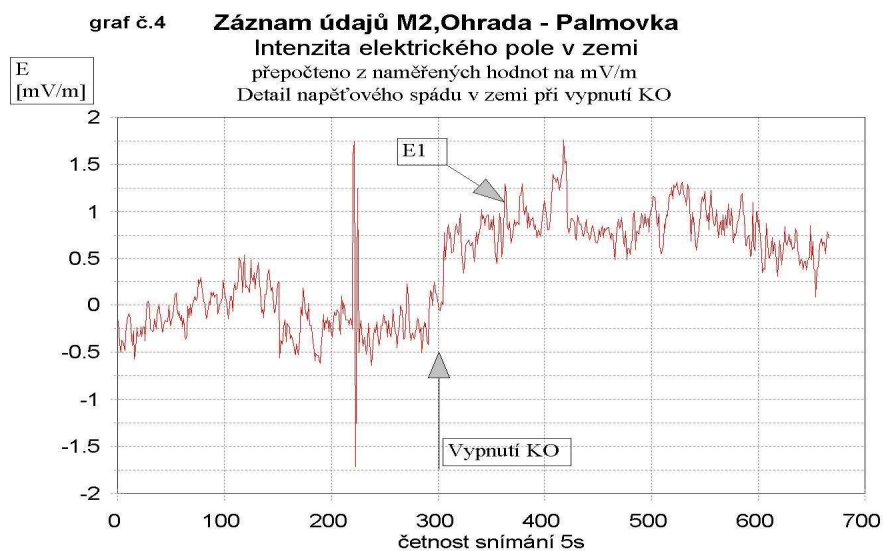
Graf č.2.

Elektrické pole v zemi v blízkosti podpěry č.5 (bod M2), měřeno před zapnutím katodické elektrody. Je patrná vysoká složka spádu napětí v jednom směru.



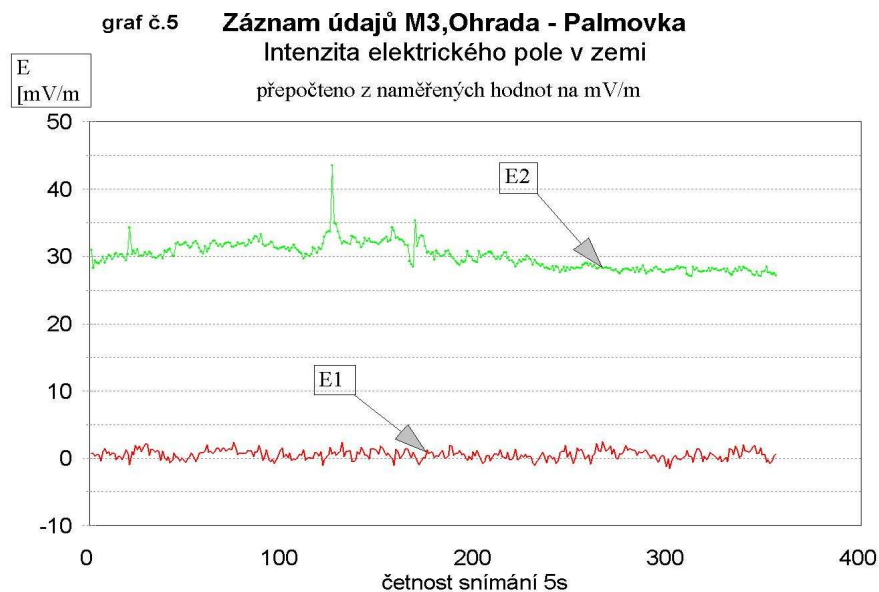
Graf č.4.

Kolmá složka elektrického pole v bodě M2 – zvětšeno. Z grafického průběhu je patrná odezva při vypnutí katodové ochrany. Elektrody byly v terénu umístěny (viz situace E1) vně systému anody – katoda ve vzdálenosti cca 5 m. Je patrné, že difference o velikosti cca 1mV/m není z hlediska korozních vlivů a ovlivňování jiných blízkých staveb podstatná.



Graf č.5.

Elektrické pole v bodě M3 (u opěry č.1 strana Palmovka) – bez vlivu katodické ochrany.



Kontrola elektricky definovaného pospojení výztuže

Kontrola byla prováděna průběžně při přípravě podpěry. Před uvedením do provozu bylo provedeno měření elektrického odporu mezi jednotlivými vývody, ať pro napájení nebo kontrolní měření. Všechny vývody vykázaly hodnoty menší než 0,01 až 0,02 Ω . Lze konstatovat, že vývody jsou elektricky definovaně propojeny, lze konstatovat, že výztuž je provařena a je možné ji připojit k aktivní ochraně.

7. Zapnutí ochrany

Vzhledem ke zkouškám zdroje pod zatížením bylo rozhodnuto, že prvotní sepnutí bude provedeno tak, že chráněny budou společně podpěra P5 i blízká larsenová stěna, tj. plocha obnažené oceli v zemi o rozměru cca 100 m².

Výchozí parametry ochrany:

- Ochranný potenciál: -0,74 V,
- Dovolený proud: 1 A,
- Potenciál výztuže podpěry před zapnutím: -200 mV,
- Potenciál kovové stěny před zapnutím: -396 mV.

Stav po zapnutí:

- Ochranný potenciál: -0,74 V,
- Skutečně dodávaný proud do systému: 0,990 mA,
- Potenciál výztuže podpěry a stěny (po ustálení): -700 mV.

Konstatuje se, že ochrana je zcela funkční, je schopna unést plné zatížení po libovolnou dobu.

Stav po třech týdnech provozu (spojena výztuž s larsenovou stěnou):

- Ochranný potenciál: $-0,74 \text{ V}$,
- Skutečně dodávaný proud do systému: $0,320 \text{ mA}$,
- Potenciál výztuže podpěry a stěny: -700 mV .

Konstatuje se, že po uvedení do provozu jsou po prvních dvou dnech chráněné objekty v podstatě polarizovány, proud ochrany výrazně klesl.

8. První vypnutí ochrany

Pro první vypnutí ochrany byl nasazen multitaskingový multimetr DATATAKER, který snímal odezvy elektrického pole v zemi mimo anody a dále směsné potenciály výztuže.

Prvním krokem bylo odpojení larsenové stěny. Průběh proudu dodávaného do systému jen pozvolně klesal – viz grafický záznam uvedený v příloze (graf č.12). Pokles proudu na cca 160mA odpovídá získaným praktickým zkušenostem.

Lze tedy konstatovat, že proud, který zajišťuje ochranný potenciál -740 mV nemůže korozně ohrozit žádnou část stavby. Je také ale třeba připomenout, že předchozí diagnostické zkoušky neprokázaly poškození konstrukce takové, aby byla zjištěna masivně obnažená výztuž nebo korodující výztuž. Je třeba si uvědomit, že vnuceným potenciálem na prakticky nepoškozené konstrukce jen vylepšujeme potenciálové poměry. Dle všech dříve provedených měření je výztuž v chráněném místě v zásadě dobře chráněná především vlastní pasivací výztuže v alkalickém prostředí betonu a ochranu nepotřebuje. Bude však jistě zajímavé po dlouhodobém měření pozorovat do jaké míry se mění parametry typu obsah chloridů v betonu nebo hloubka průniku agresivních látek k výztuži.

Graf č.9

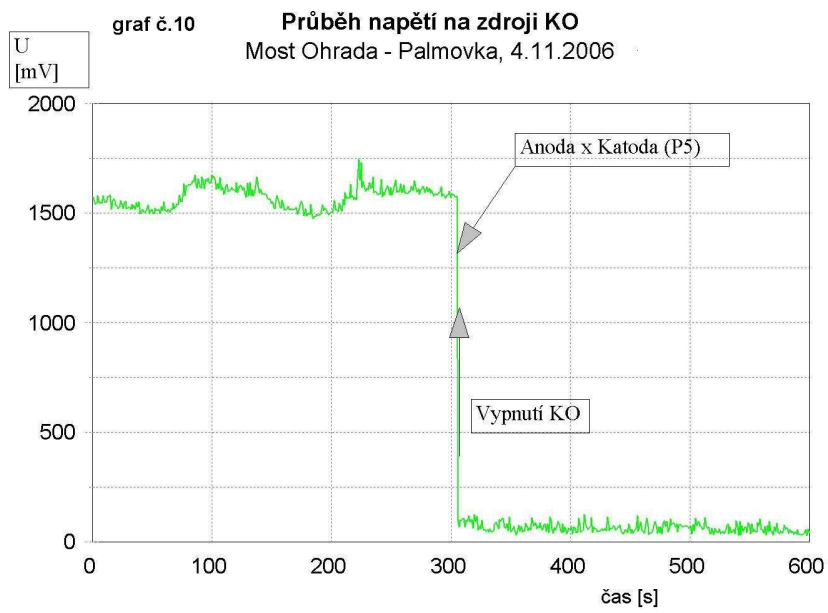
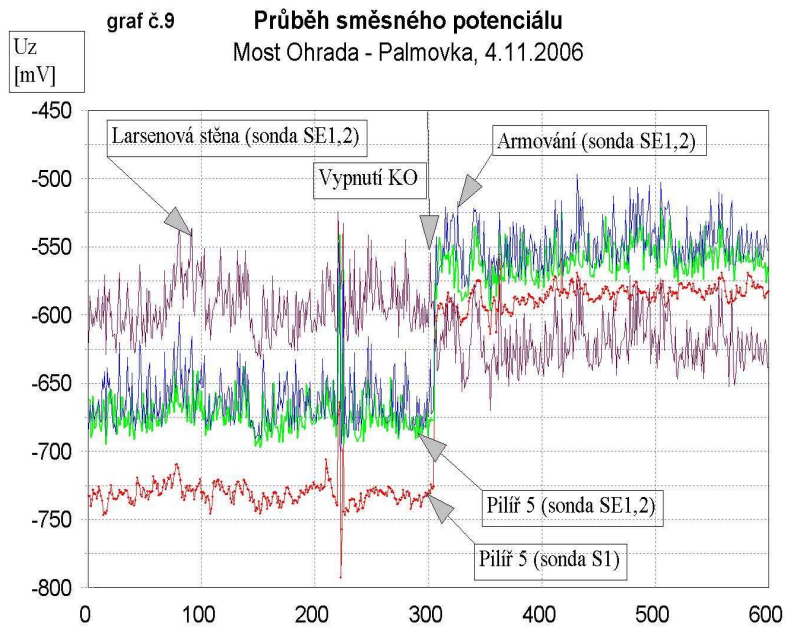
Záznamy směsných potenciálů (měřených vývodů z výztuže vůči elektrodě Cu/CuSO_4). Při vypnutí ochrany dochází v prvním okamžiku k posunu potenciálů (drop voltage):

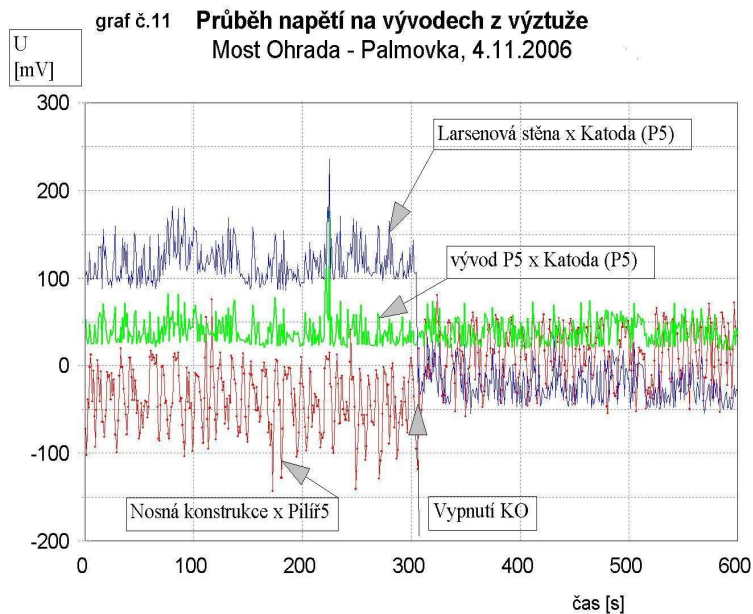
- Měřeno na vývodu P5 vůči sondě mobilní: o 125 mV (z -725 mV na -600 mV),
- Měřeno na vývodu P5 vůči sondě těsně u pilíře: o 175 mV (z -725 mV na -550 mV),
- Ostatní vývody z patky vůči blízké sondě: o 175 mV (z -725 mV na -550 mV).

Pozn.: Bylo by lze poznamenat, že pokud bychom považovali kritérium „drop voltage“ za relevantní i pro případ ochrany železobetonové konstrukce, je splněno.

Graf č.11

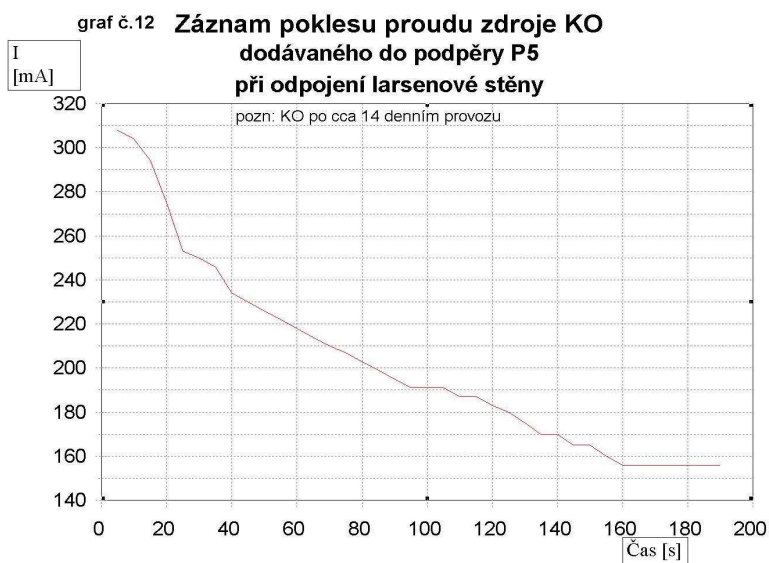
Záznamy průběhu potenciálu mezi jednotlivými vývody podpěry a mezi podpěrou a anodou. Posun potenciálu odpojené larsenové stěny a podpěry P5 při zapnutí ochrany činí cca 125 mV (Potenciál larsenové stěny je kladnější.). Po vypnutí jsou potenciály prakticky srovnané, potenciál výztuže podpěry P5 je mírně záporný vůči potenciálu výztuže (o cca 25 mV). Při zapnutí ochrany lze vysledovat i posun potenciálu podpěry vůči nosné konstrukci. Posun vypovídá o elektrickém izolačním oddělení nosné konstrukce od spodní stavby.





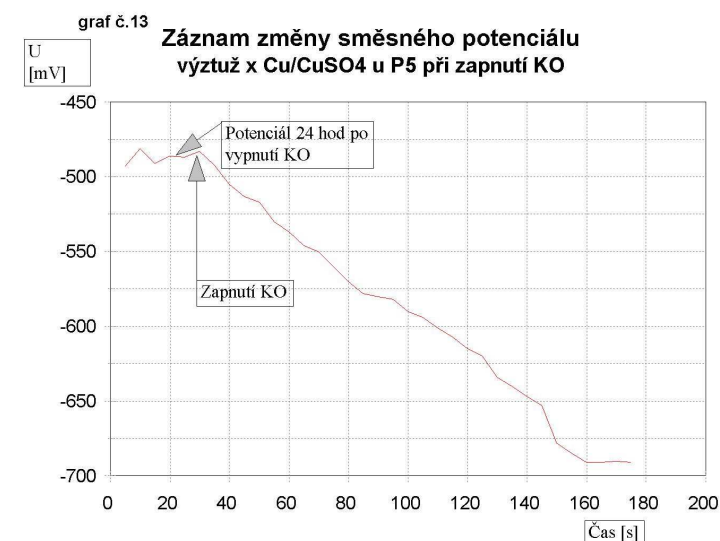
Graf č.12

Jak uvedeno shora, první zapojení ochrany bylo provedeno tak, že katodu tvořila podpěra č.5 společně s blízkou larsenovou stěnou. Vliv na proud zdroje po odpojení larsenové stěny byl zaznamenán do grafické podoby. Pokles byl poměrně pomalý. Z hodnoty 320 mA na hodnotu 160 mA došlo v časovém intervalu cca 160 s, tj. 2,5 min. Neodpovězenou otázkou je, proč k poklesu došlo nikoli skokově.



Graf č.13

Poslední a jeden z nejvýznamnějších průběhů je záznam změny potenciálu na chráněném objektu pilíři P5. Je patrný postupný pokles potenciálu z hodnoty -460mV na hodnotu -680 mV. Dosažení ochranného potenciálu trvalo cca 3 min.



9. Ekonomické vyhodnocení provozu

Provozní náklady na provoz ochrany jsou definovány jednak vlastní spotřebou elektrické energie při provozu energie, náklady na zajištění napájení elektrické energie a osobními náklady na provoz systému.

Provozní náklady

Provozní náklady za spotřebovanou elektrickou energii jsou velmi příznivé a jsou ovlivněny především rozsahem chráněného objektu a jeho korozním stavem. Spotřeba elektrické energie poroste s velikostí chráněného předmětu. V současné době jsou k dispozici dva objekty provozované se systémem ochrany pracujícím na podobném principu v ČR. Posuzovaný mostní objekt Tramvajový most Palmovka – Balabenka s chráněnou jednou podpěrou a lávka pro pěší v Srbsku, kde je chráněno pět podpěr srovnatelné velikosti.

Jestliže velikost ochranného proudu pro jednu podpěru činí cca 160 mA a velikost proudu pro pět podpěr podobné velikosti dosahuje cca 900 mA, lze s vědomím jednoduchosti úvahy dovodit určitou závislost spotřeby elektrického proudu na velikosti podpěry nebo na metr čtverečný plochy jedné podpěry mostní stavby. Je nutno však zdůraznit, že princip zařízení spočívá v napájení podpěr, které jsou elektricky izolačně odděleny od navazujících konstrukcí.

Výpočtem lze ověřit hodnoty na instalovaných elektroměrech obou systémů.

Vlastní spotřeba bez ztrát na napájecím a řídicím systému činí:

$$P = 160 \text{ mA} \times 0,7 \text{ V} = 0,112 \text{ W}$$

Při trvalém provozu po dobu jednoho měsíce bude tato spotřeba činit 80Wh, tj. celkem 33 hal za měsíc provozu s řádovou přesností úvahy. Tyto náklady jsou zcela zanedbatelné. Odečet spotřeby elektrické energie na podružném elektroměru, který je součástí rozvaděče katodické ochrany vykazuje za období jednoho měsíce 3 kWh, tj. cca 12 Kč/měsíc.

Další položku tvoří v případě připojení k distribuční síti NN stálý poplatek za elektroměr. Zde je náklad již nepoměrně vyšší a dosahuje řádu 100 Kč/měsíc.

Samostatnou položkou je náklad na dálkový sběr dat. Zařízení je vybaveno GSM modulem a přenosem na určený mobilní telefonní přístroj nebo do počítače. SIM kartu instalovanou v GSM modemu ochrany bude nutno dobíjet. Praxe ukazuje, že položka sestává ze dvou částí. Jednu část tvoří náklady na funkci ochrany a informace o stavu zařízení. Tyto informace vysílá buď zařízení ochrany automaticky samo nebo se uživatel pomocí SMS zpráv dotazuje. Náklady na tyto operace činí 100 Kč za měsíc. Po uvedení do provozu a „zahojení“ systému tento náklad klesá a částka 100 Kč je dostačující i na dobu půl roku i více.

Druhou částí této položky je vlastní sběr dat. Sběr dat se provádí do PC určenému pracovníkovi. Doba přenosu závisí na nastavené četnosti sběru dat v ochraně. V průměru lze rezervovat jednu hodinu měsíčně, tj. náklad cca do 500 Kč/měsíc.

Ochrana je elektrickým zařízením a jako takové je nutno pro ni zajišťovat periodickou revizi elektrického zařízení. Perioda revize je stanovena normou a pro toto zařízení je postačující perioda 3 až 5 let. V návaznosti na provedenou revizi bude nutno zařízení udržovat – čistit, někdy opravit. Cenu revize lze odhadnout na 3000,- Kč, cenu za údržbu na cca 5.000,- ve shodné periodě. Přepočtem lze stanovit měsíční náklad na provoz a údržbu elektrického zařízení – ochrany ve výši 200 až 300 Kč.

Poslední položku je nutno uvažovat na osobní náklady pracovníka, který se bude věnovat sběru dat a později jejich vyhodnocení a dále na pracovníka údržby. Správce mostní stavby musí určit pracovníka, který bude schopen dle potřeby se na stavbu dopravit, zkontrolovat funkci zařízení vizuálně, zařízení zapnout nebo resetovat. Určený pracovník musí data rovněž uchovávat a vyhodnocovat je. Tato položka je nejcitlivější a souvisí s celou problematikou posuzování vhodnosti aplikace podobných systémů. Správce mostních objektů vyžaduje minimalizaci nákladů na provoz velkého mostu a samozřejmě minimalizaci nároků na údržbu stavby samotné i systémů podpůrných.

Požadavek sběru dat a jeho archivace je tak největší překážkou ve vůli provozovatelů podobná zařízení provozovat. Připusťme, že pověřený pracovník se bude věnovat zařízení ochrany půl dne měsíčně bez ohledu na jeho kvalifikaci. Pak lze odhadnout měsíční položku na osobní náklady na provoz ochrany při produktivitě pracovníka 500 Kč/hod ve výši 2000Kč měsíčně.

Celkové měsíční provozní náklady na provoz ochrany tak dosahují 3000 Kč/měsíčně, tj. 36 000 Kč za rok a 720 000 Kč za dvacet let provozu zařízení.

Investiční náklady na instalaci ochrany včetně předprojektové a projektové přípravy, inženýrské činnosti a realizace lze odhadnout na cca 200 000 až 500 000 Kč v závislosti na zvolený systém ochrany a rozsah chráněných předmětů.

Celkové náklady tak dosahují cca 1,2 miliónu na období dvaceti let při zodpovědném přístupu všech zúčastněných.

Nyní je třeba si položit zásadní otázku: Je výdaj 1,2 milionu adekvátní požadavku na zvýšení životnosti a ochranu stavby? Není jednodušší a levnější ponechat stavbu bez ochrany s tím, že rozsah jejího poškození nelze jednoznačně dlouhodobě predikovat a bude v konečném důsledku levnější jednorázová oprava mostu řekněme jednou za dvacet až za čtyřicet let?

Odpověď na otázku není jednoduchá a spočívá v prvopočátečním rozhodnutí o tom, kdy a do jakých podmínek ochranu nasadit. Pokud by ochrana byla nasazována do podmínek podobných tomuto úkolu, tj. do míst, kde sice je zřejmý výskyt cizích elektrických polí a tedy bludných proudů, avšak mostní stavba nevykazuje po patnácti letech provozu žádné zjevné známky poškození, bude se jednat nepochybně o plýtvání finančními prostředky. Pokud však diagnostika stavby zjistí, že k poškození stavby v čase dochází a v místě stavby je zřejmý vliv bludných proudů, může být taková ochrana významnou podporou pro zachování stavby v provozu. Příkladem je mostní stavba v Pardubicích přes trať ČD, kde jedna z podpěr mostu se nacházela v těsné blízkosti koleje a po dvaceti letech provozu stavby byla podzemní část konstrukce zcela rozrušena a bez výztuže. Most byl odsouzen k likvidaci. Objektivní posouzení vhodnosti aplikace ochrany tak zůstává největším problémem efektivnosti celého systému. Takovým typickým příkladem postupu v praxi je tento úkol. Analogickým způsobem se odvíjí i běžná praxe:

Provozovatel stavby vyčlení omezené (běžné) prostředky na diagnostiku stavby. Specializované pracoviště provede základní diagnostiku stavby, získá informace o vlivu bludných proudů, základní informace o stavu mostní stavby (pH, krycí vrstvy, chloridy, vizuální kontrola). V případě, že tyto faktory budou nepříznivé, může být rozhodnuto o instalaci katodické ochrany, tedy budou vyčleněny prostředky pro její instalaci a překročí se k realizaci, vybere se dodavatel – specializované pracoviště.

V takovém případě musí specializované pracoviště, které zakázku již získalo, provést další detailní analýzu stavu konstrukce, která má být chráněna – ověřit stav provaření výztuže, korozní stav konstrukce pod úrovní terénu. Pokud zjistí některé skutečnosti, které vedou ke zbytečnosti nebo nesprávnosti instalace systému, mělo by specializované pracoviště od takové realizace odstoupit. To ale samozřejmě s ohledem na tok finančních prostředků a smluvní vztahy mezi odběrateli a dodavateli není reálné a k takovému rozhodnutí by byla nutná vysoká kvalifikace správce mostu.

V podobné situaci se nacházíme i v rámci tohoto úkolu. Bylo-li by odhlédnuto od výzkumné povahy úkolu a jeho zásadního a systémového významu týkajícího se ověření funkce navrhovaného řešení, bylo by korektní pro daný most ochranu nerealizovat a zvolit jiný mostní objekt, který je například v podobném korozním prostředí, ale je staršího data a s vyšším stupněm poškození. To však s ohledem na ekonomický a organizační chod úkolu není možné. Taková situace se vyskytuje i v běžné praxi.

Autor úkolu se snaží touto úvahou zdůraznit úlohu zodpovědnosti a kvalifikace specializovaných pracovišť a provozovatelů při podobných krocích. Lze doplnit, že právě toto byl jeden z řady důvodů, pro který byla možnost instalace aktivních ochran na mostních objektech v ČR technickými podmínkami TP 124 značně ztížena, ne-li znemožněna.

Při posuzování ekonomické efektivnosti aplikace aktivní ochrany nelze také pominout skutečnost, že instalace anod do země znamená prakticky vždy zpracování projektové dokumentace pro vydání stavebního povolení a stavební řízení. Při instalaci anod dochází k záboru pozemku nebo vzniku věcného břemene na cizím pozemku. Tato skutečnost může mít dopad i na efektivnost celého systému, neboť ne vždy se podaří sjednat uložení anody do cizího pozemku bezplatně. Jedná se o komplikaci související s investičními náklady, která může mít dopad i do nákladů provozních v podobě periodické platby za užívání cizího pozemku. V případech, kdy chráněná mostní stavba není vybavena tubusem, je s touto položkou nutno počítat i pro instalaci kiosku pro zdroj ochrany. V daném případě bylo nutno zajistit v lokalitě výstavby ve spolupráci se stavbou, která měla již vydané stavební povolení,

ověření existence všech inženýrských sítí stávajících i nově navrhovaných a dohodnout pozici uložení anod.

Rozhodnutí o aplikaci katodické ochrany tak není zdaleka tak jednoznačné, jak by se při pouhém technickém pohledu na řešení mohlo zdát. Proto i nadále bude aplikace katodických ochrany na železobetonových konstrukcích považována za zcela výjimečné zařízení, které je možné navrhovat jen za speciálních podmínek.

Seznam Literatury

- [1] Barlo T.J., Zdunek A.D., *Stray Current Corrosion in Electrified Rail Systems*, Corrosion 95, NACE IAC, 1995, Northwestern University BIRL.
- [2] Bažant B., *Koroze ocelové výztuže v železovém a předpjatém betonu*, SNTL, 1989.
- [3] Beneš A., *Technické kovy, jejich výroba, vlastnosti a zkoušení*, SNTL, 1958, s. 171.
- [4] *Časová závislost korozního procesu a problematika predikce životnosti železobetonových a předpjatých konstrukcí*, MD ČR 803 120 107, SVÚOM, Kalabisován, Hrdoušek, Vodička, Zahrada, Holický, Převorovský, 2001–2004.
- [5] Kučera B., *Studie užití aktivních ochrany mostů pozemních komunikací*, JEKU, 1996, MD-ČR.
- [6] *Laboratory simulation of Corrosion in Reinforced Concrete*, Cindy W. Ramirez a spol., Houston, CORROSION/90.
- [7] Landa L., Kleisner Z., Zvara J., *Betonové mosty*, SNTL, 1988.
- [8] Metodický pokyn *Dokumentace elektrických a geofyzikálních měření betonových mostů pozemních komunikací*, MD ČR, 1995.
- [9] *Předpjatý beton ve Švýcarsku 1982 až 1986*, Publikace FIP pro kongres.
- [10] SR 5/7(S) Služební rukověť *Ochrana železničních mostních objektů proti účinkům bludných proudů*, ČD s.o., 1997.
- [11] *Sulla Protezione Catot Ica Dei Ferri Del Calcestruzzo Armato*, L'Industria Italiana.Cemento, č.9/1981, s. 595–601 (časopis).
- [12] TP 72, *Diagnostický průzkum mostů PK*, MD ČR, 1995.
- [13] TP 124 *Technické podmínky Základní ochranná opatření pro omezení vlivu bludných proudů na mostní objekty a ostatní betonové stavby pozemních komunikací*, MD ČR, SD, Praha 2000.
- [14] *Výstavba lávky pro pěší v Srbsku, Katodická ochrana proti účinkům bludných proudů*, JEKU s.r.o., KPTECH, 2003.
- [15] ČSN EN 12 696 *Katodická ochrana oceli v betonu*, (2000).
- [16] ČSN EN 50162 *Ochrana před korozi bludnými proudy ze stejnosměrných proudových soustav*, (2004).