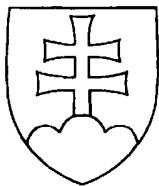


SLOVENSKÁ REPUBLIKA

(19) **SK**



ÚRAD
PRIEMYSELNÉHO
VLASTNÍCTVA
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

**ZVEREJNENÁ
PATENTOVÁ PRIHLÁŠKA**

- (22) Dátum podania prihlášky: **17. 10. 2001**
(31) Číslo prioritnej prihlášky: **60/241 232**
09/761 388
(32) Dátum podania prioritnej prihlášky: **18. 10. 2000**
16. 1. 2001
(33) Krajina alebo regionálna organizácia priority: **US, US**
(40) Dátum zverejnenia prihlášky: **2. 12. 2003**
Vestník ÚPV SR č.: **12/2003**
(62) Číslo pôvodnej prihlášky v prípade vylúčenej prihlášky:
(86) Číslo podania medzinárodnej prihlášky podľa PCT: **PCT/US01/32360**
(87) Číslo zverejnenia medzinárodnej prihlášky podľa PCT: **WO02/33148**

(11), (21) Číslo dokumentu:

569-2003

(13) Druh dokumentu: **A3**

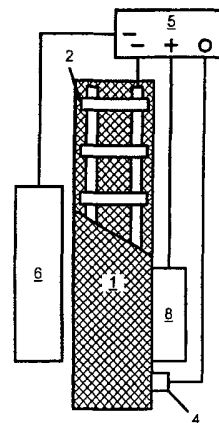
(51) Int. Cl.⁷ :

C23F 13/00

- (71) Prihlasovateľ: **COR/SCI LLC, Beachwood, OH, US;**
(72) Pôvodca: **Lyublinski Efim Ya, Beachwood, OH, US;**
(74) Zástupca: **Žovicová Viera, Mgr., Bratislava, SK;**

(54) Názov: **Katodická ochrana ocele vo vystuženom betóne elektroosmotickým pôsobením**

- (57) Anotácia:
Skombinovanie elektroosmotického jednosmerného prúdu (EP) aplikovaného pri menej ako 1 mA/Mcm^3 s anódou (8) umiestnenou v susedstve vonkajšieho povrchu vystuženého betónu (1) nasiaknutého v podstate neutrálnym roztokom soli účinne ochudobňuje korozívne anióny v betóne, aj keď je jednosmerný prúd v rozmedzí od $0,01 \text{ mA}$ do menej ako 1 mA a pri napätí menej ako 100 V . Ďalej pri použití takého elektroosmotického ošetrovania ako prvého ošetrovania a urýchlene nasledujúcej katodickej ochrany sa zisťuje, že prúdová hustota CP potrebná na katodickú ochranu je neočakávane znížená a pri spojení s nízkymi inštalačnými a prevádzkovými nákladmi nového systému je zlepšenie účinnosti konvenčného systému katodickej ochrany 3- až 30-násobné. Oba procesy možno prevádzkovať spolu bez toho, aby jeden obvod interferoval s druhým.



Katodická ochrana ocele vo vystuženom betóne elektroosmotickým pôsobením

Doterajší stav techniky

Opisujú sa diskontinuálne alebo kontinuálne metódy inhibovania korózie ocele obsiahnutej v betónových štruktúrach. Zariadenia potrebné na uskutočnenie týchto metód možno zahrnúť do štruktúry počas výstavby, alebo spätne inštalovať do existujúcich štruktúr. Systémy katodickej ochrany sa v danej oblasti techniky bežne používajú a je známe, že elektroosmóza zmení koncentráciu iónov v prostredí vystavenému prúdu dostatočnému na generovanie elektroosmotického efektu. „Elektroosmotickým efektom“ sa myslí pohyb iónov vo vode pozdĺž povrchu tuhých betónových častíc v betónovej štruktúre.

Táto prihláška sa týka systému, ktorý kombinuje elektroosmotické odstraňovanie korozívnych aniónov z betónu a katodickú ochranu kovových prvkov zabudovaných do betónu, napríklad v základoch oceľových mostov, základoch komunikačných veží, a konkrétnejšie ochrany vystužovacích oceľových prvkov označovaných ako rebierková oceľová výstuž v konvenčne vystužených betónových štruktúrach. Taká rebierková tyčová výstuž sa vyrába z mäkkej ocele (označovanej ako „čierna oceľ“), ktorá má menej ako 1 % uhlíka a menej ako 2 % legovacích prvkov spolu. Odstraňovanie iónov ako chloridov publikoval Slater, J. E. v článku pod názvom Electrochemical Removal of Chlorides from Concrete Bridge Decks v „Materials Performance“, november 1976, s. 21 – 26. Elektrické pole sa aplikovalo medzi výstuž a elektrolyt na povrchu betónu, pričom výstuž slúžila ako záporný pól. Chloridové ióny migrujú cez betón a buď reagujú s elektrolytom, alebo sa oxidujú na anóde na plynný chlór, ktorý uniká. Katodická ochrana sa spravidla uskutočňuje buď (a) galvanizačnými anódami alebo (b) priloženým prúdom s (i) ovládaním potenciálu alebo (ii) ovládaním prúdu, pričom výstuž slúži ako reaktívna katóda a anóda je v zásade inertná. Kontaminácia betónu vedie k reakcii katódy s kontaminantmi a samozrejme k oxidácii ocele.

Typicky vystužené oceľové štruktúry ako mosty, budovy vrátane elektrární, morské stavby ako doky, a cesty, ktoré sú čerstvo vybudované, sa s najväčšou výhodou okamžite chránia katodicky priloženým prúdom. Ale staršie, vnútorne vystužené a/alebo predpäté

betónové štruktúry, ktoré boli poškodené v dôsledku chemickej reakcie s kyslými prvkami v okolitej atmosfére, nemožno adekvátne chrániť bez toho, aby sa najprv potlačil alebo odstránil zdroj problému spôsobujúceho poškodenie. Problém chránenia starších vystužených betónových štruktúr je výrazne odlišný od katodického chránenia novozabudovanej rebierkovej tyčovej výstuže a iných kovových prvkov v betónovej štruktúre.

Hoci elektroosmotické odstraňovanie korozívnych aniónov z vyzretého a kontaminovaného betónu a katodická ochrana buď galvanizačnou anódou alebo priloženým prúdom sú bežné, účinok najprv použitia elektroosmotického prúdu na vyčerpanie korozívnych iónov v betóne a potom ochrana vystužovacích prvkov v betóne ochudobnenom o anióny priloženým katodickým prúdom nebol nikdy zvažovaný. Rovnako sa neuvažovalo najprv použiť elektroosmotický prúd na vyčerpanie korozívnych iónov a potom bez vypnutia elektroosmotického prúdu súčasne poskytnúť priložený katodický prúd na ochranu vystužovacích prvkov.

Zlepšenia v základnom Slaterovom procese boli diskutované medzi inými v patentoch USA č. 4,823,803; 4,865,702; 5,141,607; 5,228,959. Elektroosmotický prúd bol použitý aj v poréznom betóne alebo murivových stavebných materiáloch na transport vody von z materiálu, aby sa minimalizovali škody spôsobované vlhkosťou. Typický patent pre technológiu riešiacu problém vlhkosti v takých materiáloch, patent USA č. 6,126,802, uvádza, že proces sa zastaví v dôsledku vytvorenia potenciálu na elektródach. Teda podmienky, za ktorých sa aplikuje jednosmerný prúd na ošetrovaný materiál a zdanlivo malé rozdiely v zložení a stave ošetrovaného materiálu majú neúmerne veľký efekt na výsledky ošetrovania. Tieto zdroje nenaznačujú, že na elektroosmotické odstraňovanie korozívnych aniónov vystužovacie prvky nemusia byť katódou a že elektroosmotický prúd účinne vyčerpáva anióny v betóne aj vtedy, keď je elektrolytom roztok soli, ktorý je v podstate pH neutrálny (pH 7 – 8); rovnako tieto zdroje nenaznačujú, že keď sa vystužovacie prvky v betóne nepoužívajú ako katóda, spotreba jednosmerného prúdu je relatívne oveľa nižšia; ďalej že keď sa ióny z kontaminovaného betónu odstraňujú, je zbytočné odoberať jadrové vzorky betónu alebo analyzovať elektrolyt na zvyšný obsah korozívnych iónov betónu; navyše tu nie je žiadne pozorované vytváranie potenciálu na elektródach a nie je potrebné žiadne pulzovanie.

Poskytuje sa systém na kontrolu korózie vystuženého betónu, ktorý je kontaminovaný atmosférickými znečisťujúcimi látkami, ako sú oxidy síry, oxidy dusíka, sírovodík, a soľami na ošetrovanie vozoviek, ako je chlorid sodný a chlorid draselný, ktoré všetky prenikajú do betónovej štruktúry a atakujú oceľovú rebierkovú tyčovú výstuž. Tento vynález kombinuje buď (a) elektroosmotické ošetrovanie s katodickou ochranou s použitím galvanizačnej anódy alebo (b) elektroosmotické ošetrovanie s katodickou ochranou s použitím priloženého prúdu. Prvé odstraňuje ióny škodlivé pre oceľ a znižuje korozívnosť prostredia obkolesujúceho oceľ.

Keďže elektroosmóza znižuje koncentráciu iónov v betónovom prostredí, čím zvyšuje odpor betónu, bolo by logické predpokladať, že za takých podmienok by prúd potrebný na udržanie katodickej ochrany stúpol; nakoniec by vodivosť bola taká nízka, že prúdová hustota pre katodický prúd by bola neekonomická a musela by sa prerušiť. Preto nebolo evidentné, že vystavenie vystuženého betónu elektroosmotickému pôsobeniu by mohlo znížiť energetické požiadavky na udržanie adekvátnej koróznej ochrany rebierkovej tyčovej výstuže.

Aby sa získala báza na porovnanie účinku kombinačných procesov, v ktorých sú rôzne podmienky, ako spoločný parameter sa použila účinnosť procesu na boj s koróziou. „Účinnosť“ sa považuje za nulovú, keď neexistuje žiadna ochrana akéhokoľvek druhu; účinnosť je definovaná ako množstvo kovu, ktoré sa nestratilo vďaka ochrane, delené množstvom kovu, ktoré by sa stratilo bez ochrany, alebo:

$$(\text{rýchlosť korózie bez ochrany}) - (\text{rýchlosť korózie s ochranou}) \text{ delené } (\text{rýchlosť korózie bez ochrany}).$$

V tejto publikácii sú použité nasledujúce pojmy:

„ E_c “ označuje korózný potenciál rebierkovej tyčovej výstuže. E_c sa meria voči referenčnej elektróde umiestnenej v kontakte s obvodovým povrchom betónovej vzorky. Píše sa v zápornej forme voči štandardnej vodíkovej elektróde.

„ E_p “ označuje potenciál, pri ktorom treba dodávať účinný priložený prúd na katodickú ochranu.

„CD“: prúdová hustota pre katodickú ochranu = prúd delený plochou povrchu rebierkovej tyčovej výstuže v kontakte s betónom.

„CP“: priložený prúd na katodickú ochranu identifikovaný osobitne, keď sa líši.

„EP“: jednosmerný prúd na elektroosmotické ošetrovanie, ktorý odstraňuje kontaminujúce anióny z betónu.

„EL“ označuje agresívny, v podstate pH neutrálny roztok soli, ktorý slúži ako elektrolyt, v ktorom sú ponorené vzorky.

Podstata vynálezu

Zistilo sa, že skombinovaním elektroosmotického jednosmerného prúdu (EP) aplikovaného pri menej ako 1 mA/Mcm^3 (miliampér/1000 cm^3 betónu), s výhodou menej ako $0,2 \text{ mA/Mcm}^3$ a napätí bezpečnom pre ľudí, s anódou umiestnenou pri vonkajšom povrchu betónu namočeného v prevažne neutrálnom roztoku soli účinne vyčerpáva korozívne anióny v betóne, aj keď je jednosmerný prúd v rozmedzí od 0,01 mA do menej ako 1 mA a pri napätí menšom ako 100 V, s výhodou menšom ako 70 V. Ďalej použitím takého elektroosmotického ošetrovania ako prvého ošetrovania, kým prietok prúdu neindikuje vyčerpanie škodlivých aniónov, a urýchlenu (do šiestich mesiacov po prvom ošetrovaní) katodickou ochranou, s výhodou priloženým katodickým prúdom (CP) pri relatívne nízkom napätí, sa prúdová hustota CP potrebná na katodickú ochranu neočakávane znižuje. Toto zníženie v požadovanej prúdovej hustote priloženého prúdu CP v spojení s nízkymi inštaláčnymi a prevádzkovými nákladmi nového systému zlepšuje účinnosť konvenčného systému katodickej ochrany, či priloženým prúdom alebo galvanizačnými anódami, niekoľkokrát, o faktor až 3 až 30 krát. Navyše hoci elektroosmotické ošetrovanie možno poskytnúť použitím vystužovacích prvkov v betóne ako katódy, výhodné je použiť katódu mimo betónovej štruktúry; touto „externou“ katódou pre elektroosmotický prúd (EP) nie sú vystužovacie prvky v betóne.

Preto je všeobecným cieľom tohto vynálezu poskytnúť elektroosmotické ošetrovanie v kombinácii so systémom katodickej ochrany, aby sa umožnilo udržanie vyzretej, iónmi kontaminovanej betónovej štruktúry v podstate bez korózie použitím len zlomku prúdu,

ktorý by bol potrebný na udržanie tej istej úrovne ochrany v konvenčnom systéme katodickej ochrany. Účinné je postupné zabezpečenie elektromigračného pohybu kontaminujúcich iónov von z betónu nasledované urýchlene katodickou ochranou a opakovanie postupnosti podľa potreby. Súčasné poskytovanie elektroosmotického ošetrovania a katodickej ochrany je neočakávane ešte účinnejšie ako postupné ošetrovanie, pričom jeden obvod funguje bez toho, aby podstatne narúšal druhý.

Špecifickým cieľom vynálezu je poskytnúť spôsob postupnej ochrany štruktúr pomocou osobitných elektroosmotických a katodicko-ochranných okruhov, ktoré štruktúry sú vážne poškodené v dôsledku pôsobenia času v kyslej atmosfére. Elektroosmotické ošetrovanie sa spúšťa, keď je odpor priameho EP prúdu dostatočne nízky na to, aby umožnil viac ako približne $1000 \mu\text{A/Mcm}^3$ pretekať pri 36 V. EP sa vypína, keď prietok prúdu klesne na približne $200 \mu\text{A/Mcm}^3$, čo indikuje, že koncentrácia iónov klesla na prijateľne nízku úroveň. Priložený katodický prúd CP sa zapína pri bezpečnej úrovni menej ako 100 V, aby sa udržal potenciál E_p na požadovanej úrovni, spravidla v rozmedzí od približne 150 mV do menej ako 300 mV vyššej (numericky však písanej ako záporné voľty voči vodíkovej elektróde) ako korózný potenciál na rebierkovej tyčovej výstuži. CP sa udržiava, kým prúdová hustota stúpne nad úroveň považovanú za ekonomickú. Napríklad keď prúdová hustota stúpne nad približne 300 mA/m^2 , náklady katodickej ochrany sú vo všeobecnosti považované za neekonomické; prevádzka je s výhodou s prúdovou hustotou CP nie viac ako 200 mA/m^2 . CP sa vypína, keď sa to považuje za neekonomické a obvod pre elektroosmotické ošetrovanie sa potom reaktivuje, kým sa neodstráni dostatok iónov na to, aby sa katodická ochrana so samotným priloženým prúdom CP stala ekonomickou. Túto striedavú postupnosť možno opakovať tak často, ako je potrebné, aby sa udržala korózia kovu na tolerovateľnom minime v priebehu neurčitého časového obdobia. Koncentrácia solí v betóne sa sníma meraním potrebnej prúdovej hustoty pri zvolenom bezpečnom napätí a nie je potrebná žiadna analýza na určenie obsahu iónov ostávajúcich v betóne. Riadenie systému sa uskutočňuje programovateľným ovládačom spojeným so zdrojom energie.

Alternatívne možno elektroosmotické ošetrovanie a katodickú ochranu chlórovanej a sulfónovanej betónovej štruktúry spustiť v podstate súčasne zabezpečením dvoch oddelených elektrických okruhov, ktoré fungujú súbežne s oddelenými anódami

a katódami, kým úrovně elektroosmotického prúdu a priloženého katodického prúdu nie sú privysoké na to, aby boli ekonomické. Potom je na adekvátnu katodickú ochranu potrebná len katodická ochrana použitím buď galvanizačnej anódy alebo priloženého prúdu s nižšou prúdovou hustotou.

Prehľad obrázkov na výkresoch

Predchádzajúce a ďalšie ciele a výhody vynálezu budú najlepšie pochopené s odkazom na nasledujúci podrobný opis sprevádzaný schematickými ilustráciami výhodných uskutočnení vynálezu, na ktorých ilustráciách rovnaké vzťahové čísla odkazujú na rovnaké prvky, a na ktorých:

Obrázok 1(a) schematicky ilustruje konvenčný systém katodickej ochrany s priloženým prúdom, pričom na meranie potenciálu pre rebierkovú tyčovú výstuž sa používa referenčná elektróda.

Obrázok 1(b) schematicky ilustruje konvenčný systém katodickej ochrany s galvanizačnou anódou umiestnenou v zemi mimo betónovej štruktúry.

Obrázok 1(c) schematicky ilustruje konvenčný systém katodickej ochrany s viacnásobnými galvanizačnými anódami umiestnenými v betónovej štruktúre.

Obrázok 2 schematicky ilustruje nádobu, v ktorej sa uskutočňovali experimenty so vzorkami betónu vystuženého rebierkovou tyčovou výstužou.

Obrázok 3(a) schematicky ilustruje systém katodickej ochrany priloženým prúdom, v ktorom je použitá v podstate inertná, nerozpustná anóda na dvojité účel poskytovania potrebného obvodu pre katodickú ochranu a tiež na poskytnutie potrebného obvodu na zabezpečenie elektroosmotického ošetrovania betónu.

Obrázok 3(b) schematicky ilustruje systém ochrany galvanizačnou anódou, v ktorom je použitá rozpustná anóda na dvojité účel poskytovania potrebného obvodu pre katodickú ochranu a tiež na poskytnutie potrebného obvodu na zabezpečenie elektroosmotického ošetrovania betónu.

Obrázok 4(a) je graf závislosti účinnosti (%) od prúdovej hustoty danej v mA/m² (miliampére/štvorcový meter) spočiatku bez priloženého prúdu, s použitím konvenčného priloženého katodického prúdu na vzorky vystuženého betónu ponorené v prevažne pH neutrálnom roztoku.

Obrázok 4(b) je graf závislosti rýchlosti korózie (μm/rok) od prúdovej hustoty danej v mA/m² (miliampére/štvorcový meter) s použitím konvenčného priloženého katodického prúdu na vzorky vystuženého betónu ponorené v prevažne pH neutrálnom roztoku.

Podrobný opis výhodných uskutočnení

Keď sa kyselina, báza alebo soľ rozpustí vo vode alebo akomkoľvek inom disociujúcom rozpúšťadle, časť molekúl alebo všetky molekuly rozpustenej látky sa rozpadnú na ióny, z ktorých niektoré sú nabité kladnou elektrinou a nazývajú sa katióny a ekvivalentný počet ktorých je nabitý zápornou elektrinou a nazývajú sa anióny. Čerstvo liaty, vlhký betón obsahuje najmä ióny Ca a OH. Vo vyzretej betónovej štruktúre okyslenej typickými environmentálnymi kontaminantmi sú kontaminujúce anióny hlavne SO₄²⁻ alebo SO₃²⁻, CO₃²⁻ a Cl⁻; OH⁻ anióny, ak sú prítomné, ani Ca²⁺ alebo H⁺ katióny nie sú škodlivé. Pretože elektroosmotické ošetrovanie jednosmerným prúdom spôsobuje, že ekvivalent prospešných katiónov opúšťa anódu na každý ekvivalent aniónov odstránených z betónu, jednosmerný prúd je účinný pri „čistení“ vážne kontaminovaného betónu.

Katodická ochrana priloženým prúdom spolu s elektroosmotickým ošetrovaním sa teraz používa na odstraňovanie koroziívnych častíc ako chloridy, sírany a siričitany z celého objemu vystuženého betónu najprv použitím externe aplikovaného prúdu medzi vonkajšou katódou a vonkajšou anódou na elektroosmotické ošetrovanie betónu; toto sa s výhodou robí pri takom vysokom napätí, ktoré sa považuje za bezpečné a prípustné, a pri takom vysokom prúde, aký je potrebný pri zvolenom napätí na odpor betónu. Z bezpečnostného hľadiska je zvolené napätie s výhodou nezraňujúce pre človeka, s výhodou v rozmedzí od 10 do 70 V, s väčšou výhodou 30 až 50 V. Prúd potrebný za typických podmienok je nízky, spravidla nižší ako 1 mA a s výhodou nižší ako 0,1 mA, v rozmedzí od približne 200 do 1000 μA/Mcm³ betónu, v závislosti od stupňa

kontaminácie; čím vyššia kontaminácia, tým vyšší prúd. Keď koncentrácia škodlivých aniónov značne klesne, prúd spravidla klesne pod $200 \mu\text{A}/\text{Mcm}^3$.

Tyče z hliníka alebo zo zliatin bohatých na hliník, alebo tyče z horčíka a zo zliatin bohatých na horčík, zinok a zliatiny bohaté na zinok sa používajú ako galvanizačné anódy umiestnené v blízkosti alebo zabudované do štruktúry v galvanickom spojení s oceľovými rebierkovými tyčovými výstužami; alebo sa používajú zinkom pokryté rebierkové tyčové výstuže; v každom prípade požadovaná hmota anódy je také množstvo kovu, ktoré prejde do roztoku v priebehu času, pričom toto množstvo kovu zodpovedá množstvu elektriny pretekajúcej cez galvanický obvod a času, počas ktorého sa kov spotrebuje (Faradayov zákon). Keďže ochrana je potrebná v priebehu dlhého času a rýchlosť spotreby anódy je spravidla po začiatku korózie dosť vysoká, požadovaná hmota galvanizačnej anódy pre dlhé obdobie, povedzme 100 rokov, je vysoká. Navyše pravidelná výmena anód na zabezpečenie kontinuálnej ochrany je prinajmenšom nepohodlná a často nepraktická. Preto sa od používania takých galvanizačných anód prevažne odstúpilo v prospech používania vonkajšieho zdroja energie na zabezpečenie priloženého katodického prúdu na korodujúci kov. Ovládaním priloženého prúdu životnosť stavby nie je obmedzená koróziou jej oceľovej výstuže.

Pri katodickej ochrane sa zabezpečí prietok priloženého prúdu cez anódu do elektrolytu a potom do rebierkovej tyčovej výstuže v stavbe. Taká ochrana pri oceľovej rebierkovej tyčovej výstuži ako katóde je vo forme, ako sa konvenčne uskutočňuje, drahá, pretože vyžaduje oveľa vyššiu prúdovú hustotu, aby sa získala dostatočne nízka úroveň korózie, v porovnaní s prúdovou hustotou, ktorá je potrebná na získanie rovnakej koróznej ochrany pri rebierkovej tyčovej výstuži v prostredí, ktoré bolo ochudobnené o korozívne ióny. Keď je hladina korozívnych aniónov v betóne nízka, zisťuje sa, že prúdová hustota priloženého prúdu je nízka, pričom je nižšia ako približne $100 \text{ mA}/\text{m}^2$; so zvyšovaním koncentrácie korozívnych iónov stúpa prúdová hustota; keď dosiahne približne $200 \mu\text{A}$, priložený prúd sa preruší a zapne sa elektroosmotický prúd.

S odkazom na obrázky 1(b) a 1(c), konvenčná katodická ochrana s galvanizačnou anódou zahŕňa rebierkovú tyčovú výstuž 2 zabudovanú do betónového stĺpa 1 s galvanizačnou anódou 3 externe umiestnenou na obrázku 1(b) a zapustenou do betónu

na obrázku 1(c). Žiadny z týchto systémov vo všeobecnosti nie je taký účinný ako s priloženým prúdom vzhľadom na nízky energetický výstup. Príčinou nízkeho výstupu je nízke napätie alebo potenciálový rozdiel medzi galvanizačnou anódou a korodujúcou oceľou v betóne v prostredí roztoku soli. Potenciál je spravidla menší ako 1 volt a často len 0,5 voltu. Keďže betón má vyšší odpor ako typická mokrá pôda, až do približne 100 000 ohm-cm, odpor obvodu je stovky alebo tisíce ohmov. Pri vysokom odpore je výstup prúdu nízky.

V konvenčnom systéme priloženého prúdu, ktorý je zobrazený na obrázku 1(a), rebierková tyčová výstuž 2 zabudovaná do betónového stĺpa 1 je pripojená ako katóda k batérii 5, ku ktorej je pripojená aj externá inertná anóda 6. Referenčná elektróda 4 je umiestnená na povrchu betónového stĺpa.

Rýchlosť korózie bez prúdu (žiadna ochrana) je približne 450 $\mu\text{m}/\text{rok}$; keď je prúdová hustota 200 mA/m^2 , rýchlosť korózie je približne 20 $\mu\text{m}/\text{rok}$, čo je zanedbateľné. Takže aby sa získala účinnosť približne 95 %, potrebná prúdová hustota je 200 mA/m^2 , pričom účinnosť je definovaná ako rýchlosť korózie pri danej prúdovej hustote delenej rýchlosťou korózie bez prúdu. Aby sa získala približne 80 % účinnosť, je potrebná prúdová hustota približne 120 mA/mm^2 . Nový systém sa vyhýba vysokým nákladom takej konvenčnej ochrany.

Hoci možno použiť systém galvanizačnej anódy z obrázka 1(b) v kombinácii s externou katódou, ako je zobrazené na obrázku 3(b), nie je to účinné tak, ako systém s priloženým prúdom. Na obrázku 3(b) rebierková tyčová výstuž 2 vystužuje betónový stĺp 1 a externá anóda 3 je pripojená na riadiaci systém 7; aj externá katóda 6 je pripojená na riadiaci systém 7. Nízky energetický výstup systému robí systém menej účinným ako systém s priloženým prúdom.

Preto je výhodný systém katodickej ochrany s priloženým prúdom, ako je zobrazené na obrázku 1(a) v kombinácii s dodatočnou katódou, ako je zobrazené na obrázku 3(a). Na obrázku 3(a) ani 3(b) nie sú kvôli prehľadnosti zobrazené referenčné elektródy.

Nový systém ochrany proti korózii sa spravidla používa na vyzretých štruktúrach, ktoré sú vážne poškodené kyslými kontaminantmi. Elektroosmotické ošetrenie sa spustí, kým koncentrácia korozívnych kontaminantov nie je znížená na uspokojivú úroveň, čo indikuje prúd (EP) klesajúci na prúdovú hustotu menej ako $200 \mu\text{A}$, s výhodou menej ako $100 \mu\text{A}$; potom sa prúd vypne. Urýchlene nato, s výhodou v priebehu menej ako šesť mesiacov, s najväčšou výhodou do mesiaca, sa poskytne katodická ochrana s priloženým prúdom pri prúdovej hustote považovanej za ekonomickú a priložený prúd sa udržiava, kým sa nahromadenie kontaminantov nebude považovať za škodlivé. Potom sa elektroosmotické ošetrenie zopakuje.

Pri použití s novou konštrukciou sa katodická ochrana s najväčšou výhodou realizuje priloženým prúdom, kým sa nahromadenie kontaminantov nepovažuje za škodlivé. Urýchlene nato, s výhodou do šiestich mesiacov, sa začne elektroosmotické ošetrenie, kým koncentrácia korozívnych kontaminantov nebude znížená na uspokojivú úroveň.

S najväčšou výhodou sa elektroosmotické ošetrenie a katodická ochrana uskutočňujú súbežne, pričom spočívajú v katodickom zapojení prvej katódy na zdroj potenciálu, ktorý je dostatočne elektronegatívny, aby zabezpečil elektroosmózu iónov v rámci tohto betónu, pričom prvá katóda je umiestnená externe v blízkosti tejto betónovej štruktúry; udržiavanie elektroosmotického transferu iónov z betónu, kým vodivosť tohto betónu nebude taká nízka, aby dosiahla prúdovú hustotu približne 200 mA/m^2 alebo nižšiu; katodickom pripojení rebierkovej tyčovej výstuže k zdroju elektronegatívneho potenciálu dostatočného na poskytnutie dostatku priloženého prúdu na potlačenie katodického potenciálu tejto rebierkovej tyčovej výstuže na vopred určené rozmedzie; anodickom pripojení tohto zdroja potenciálu na anódu umiestnenú v blízkosti rebierkovej tyčovej výstuže; a udržiavaní prúdu zo zdroja elektronegatívneho potenciálu na potenciáli v rozmedzí od približne 150 mV do menej ako 300 mV numericky vyššom ako korózný potenciál snímača korózneho potenciálu, kým prúdová hustota nestúpne na viac ako 100 mA/m^2 . Korózný potenciál na povrchu rebierkovej tyčovej výstuže voči referenčnej elektróde na povrchu betónu sa s výhodou meria kontinuálne.

Programovateľný ovládač spojený so zdrojom energie monitoruje a reaguje na senzor zabudovaný do betónu alebo umiestnený na jeho povrchu alebo oboje, aby poskytoval údaje o koróznom potenciáli na rebierkovej tyčovej výstuži, pH betónu a koncentrácii solí na rôznych miestach v rámci štruktúry.

Systém na udržiavanie betónovej štruktúry vystuženej oceľovou rebierkovou tyčovou výstužou v podstate bez korózie rebierkovej tyčovej výstuže zahŕňa masu betónu, kde rebierková tyčová výstuž je elektricky spojená do siete; externý zdroj energie reagujúci na programovateľný ovládač, do ktorého sa posielajú dáta zo senzora, zapojený do série, pričom programovateľný ovládač reaguje na externý zdroj energie aj senzor; prostriedok na anodické pripojenie externého zdroja energie potenciálu na anódu umiestnenú v blízkosti rebierkovej tyčovej výstuže; prostriedok na katodické pripojenie prvej katódy na externý zdroj energie, ktorý poskytuje dostatočný prúd na dosiahnutie elektroosmotického toku iónov von z betónu; prostriedok na katodické pripojenie rebierkovej tyčovej výstuže na externý zdroj energie, ktorý je dostatočne elektronegatívny vzhľadom na nameraný stabilný potenciál, aby potlačil katodický potenciál rebierkovej tyčovej výstuže na vopred určené rozmedzie; a prostriedok na udržiavanie prúdu zo zdroja elektronegatívneho potenciálu na potenciáli v rozmedzí od približne 150 mV do menej ako 300 mV numericky vyššom ako korózný potenciál senzora korózneho potenciálu.

Na prevádzku v postupnom (prvom) režime s priloženým prúdom CP systém ilustrovaný na obrázku 3(a) sa prevádzkuje nasledovne:

Zdroj energie 5 je pripojený na katódu 6 umiestnenú v zemi vedľa betónového stĺpa 1 a aj k nerozpustnej anóde 8, ktorá je v susedstve betónu, s najväčšou výhodou v kontakte s povrchom betónu. Použije sa dostatočný prúd pri 36 V na získanie elektroosmózy, ktorá ťahá Cl^- a ďalšie anióny k anóde 8, zatiaľ čo Na^+ a ďalšie kationy migrujú ku katóde 6. Merania s referenčnou elektródou sledujú korózný potenciál (E_c) rebierkovej tyčovej výstuže počas elektroosmotického ošetrovania aj katodickej ochrany.

Keď je odpor betónového stĺpa ešte dostatočne vysoký, aby umožnil tok EP pri relatívne nízkom prúde, približne 200 μA , s výhodou menej ako 100 mA/m^2 , katóda 6 sa odpojí od zdroja energie 5, takže elektroosmóza sa preruší a rebierková tyčová výstuž 2

sa pripojí na zápornú svorku zdroja energie 5. Obdobie, počas ktorého bude potrebné uskutočňovanie jednotlivých krokov, bude závisieť od prostredia rebierkovej tyčovej výstuže v betóne a charakteristik v podstate pH neutrálnej pôdy okolo stĺpa.

Pri postupnej prevádzke s galvanizačnou anódou sa záporná svorka riadiaceho systému 7 pripojí na katódu 6 umiestnenú v zemi vedľa betónového stĺpa 1, s výhodou v kontakte s povrchom, a kladná svorka 7 sa pripojí na rozpustnú galvanizačnú anódu 3. Použije sa dostatočný prúd EP na získanie elektroosmózy, ktorá ťahá Cl^- a ďalšie anióny k anóde 3, zatiaľ čo Na^+ a ďalšie kationy migrujú ku katóde 6. Rovnako ako predtým, keď je tok prúdu EP dostatočne nízky, vypne sa. Rebierková tyčová výstuž sa potom pripojí na zápornú svorku v riadiacom systéme 7 a katodická ochrana sa zabezpečí galvanizačnou anódou 3. Rovnako ako v predchádzajúcom prípade možno postup podľa potreby opakovať.

Pri použití priloženého prúdu CP alebo galvanizačnej anódy sa zisťuje, že rovnaká rýchlosť korózie sa získa pri prúdovej hustote menšej ako približne polovičnej oproti tej, ktorá je vyžadovaná pri konvenčnom systéme katodickej ochrany, či používa katodickú ochranu priloženým prúdom alebo galvanizačnú anódu.

Na prevádzku v súbežnom (druhom) režime systémov ilustrovaných na obrázkoch 3(a) a 3(b) sa udržiava elektroosmotický prúd EP, zatiaľ čo obvod katodickej ochrany poskytuje galvanické spojenie medzi rebierkovou tyčovou výstužou a anódou. Keď sa použije priložený prúd CP v kombinácii s EP, dva oddelené obvody fungujú súbežne v médiu so v podstate neutrálnym pH.

Každá očíslovaná vzorka je valec z vystuženého betónu s priemerom 10 cm a výškou 20 cm pripravený použitím 300 kg portlandského cementu na kubický meter betónu, v strede ktorého valca bola pozdĺžne axiálne zabudovaná čistá nehrdzavá tyč z uhlíkovej ocele s priemerom 1,5 cm a dĺžkou 25 cm. Každá tyč v každej vzorke bola pred zabudovaním odvážená. V každej vzorke je v blízkosti stredovej tyče zabudovaná aj pH elektróda na monitorovanie pH ako funkcie času. Po každom cykle sa špička každej rebierkovej tyče, ktorá poskytuje elektrické pripojenie ako druhá katóda, odreže v podstate zarovno hornej plochy betónu, aby sa minimalizovala chyba spôsobená

koróziou hornej časti exponovanej priamo voči korozívnym prvkom v kondicionačnej komore bez výhody pokrytia betónom.

Aby sa akcelerovalo atmosférické poškodzovanie, ktoré by sa normálne očakávalo v priebehu desaťročí, všetky vzorky sa predkondicionujú v kondicionačnej komore vybavenej agresívnou syntetickou atmosférou. Korozívna atmosféra v kondicionačnej komore má nasledujúce zloženie:

chlorid, Cl^- : $1,5 \text{ g/m}^2 \times h$ (merané na povrchu valca)

oxid siričitý SO_2 : 30 mg/m^3

relatívna vlhkosť, RH: 100 %

teplota komory: 55°C .

Korozívne Cl^- ióny sa zabezpečujú kontinuálnym rozprašovaním roztoku NaCl do komory v priebehu 30 dní. Koncentrácia NaCl na povrchu vzorky sa meria z času na čas, spravidla každé 2 h. Koncentrácia Cl^- iónov sa vypočítava na základe plochy povrchu vzorky a udržiava sa konštantná v priebehu celých 30 dní. Koncentrácia plynného oxidu siričitého sa udržiava konštantná v priebehu celých 30 dní. Účinok starnutia v kondicionačnej komore sa hodnotí meraním pH ako funkcie času v každej zo vzoriek, pričom sa zisťuje, že pH sa mení v uvedených rozmedziach od vzorky k vzorke počas každého obdobia v rozmedziach podľa nasledujúcej tabuľky 1:

Tabuľka 1

Deň číslo	1	10	20	30
pH	12,0 – 13,4	7,6 – 9,1	7,4 – 8,3	6,8 – 8,0

Vzorky sa potom testujú, aby sa určil korozívny účinok EL za daných ochranných podmienok ponorením do elektrolytu.

Elektrolyt EL sa pripraví rozpustením nasledujúcich solí v destilovanej vode, takže ich koncentrácie uvedené v g/l sú: NaCl, 25; MgCl_2 , 2,5; CaCl_2 , 1,5; Na_2SO_4 , 3,4; a CaCO_3 , 0,1, a pH je 7 – 8.

Na obrázku 2 je ilustrovaná elektricky nevodivá plastová nádoba 10 naplnená elektrolytom EL, v ktorom je centrálne umiestnená vzorka vystuženého betónu 12 s hornou časťou rebierkovej tyče 11 vyčnievajúcou z horného povrchu vzorky. Rebierková tyč 11 funguje ako katóda (tu označovaná ako druhá katóda) a je pripojená na zápornú svorku N v batérii 13. Špička rebierkovej tyče sa odreže v podstate zarovno hornej plochy betónu, aby sa minimalizovala chyba spôsobená koróziou hornej časti exponovanej priamo voči korozívnym prvkom v kondicionačnej komore bez výhody pokrytia betónom, pričom horná časť rebierkovej tyče je dostatočná na zabezpečenie elektrického pripojenia ako druhá katóda. Anódy 14 a 14' sú ponorené v elektrolyte na oboch stranách vzorky a pripojené na osobitné kladné svorky P a P' na batérii 13; prvá katóda 15 je tiež ponorená v elektrolyte v určitej vzdialenosti od povrchu vzorky a podobne ako druhá katóda je tiež pripojená k zápornej svorke batérie. Každý pár svoriek poskytuje prúd pre obvody, ktoré slúžia rôznym účelom, jeden na katodickú ochranu a druhý na elektroosmotické ošetrovanie.

V prvom uskutočnení vynálezu sa obvody používajú postupne, pričom EP prúd sa používa na zníženie koncentrácie korozívnych iónov v betóne, nasleduje vypnutie, potom poskytnutie ochrany katodickým priloženým prúdom, kým prúdová hustota nestúpne na úroveň považovanú za neekonomickú; potom sa EP prúd zapne. Referenčná elektróda 16 sa umiestni do kontaktu s obvodom povrchom vzorky a pripojí sa k batérii, aby sa zmeral referenčný korózny potenciál E_c rebierkovej tyčovej výstuže. Po troch dňoch sa E_c ťažko zmysluplne meria, ale po približne 10 dňoch sa zisťuje, že je asi -360 mV a ostáva v podstate konštantný bez ohľadu na to, v ktorej vzorke je rebierková tyčová výstuž zabudovaná. E_c sa udáva relatívne voči štandardnej vodíkovej elektróde.

V prvej sérii experimentov sa korozívny účinok elektrolytu meria na vzorkách na konci dní 10, 140 a 180 v nádobe 10, kde nie je žiadna ochrana proti korózii elektrolytom, v ktorom je ponorená každá vzorka; E_c sa meria každý deň. Korozívny účinok sa meria vybratím vzorky na konci daného obdobia, napríklad 10 dní, rozbitím a vybratím rebierkovej tyčovej výstuže a očistením rebierkovej tyčovej výstuže od všetkého prilipnutého betónu a hrdze. Vyčistená rebierková tyčová výstuž sa potom odváži a vypočíta sa hmotnostná strata. Na základe známej obvodej plochy čistej rebierkovej tyčovej výstuže a pripočítaním kruhovej plochy horného a dolného povrchu, ktoré majú po

1,0 cm v priemere, vypočíta sa hmotnostná strata na cm^2 . Potom na základe hustoty ocele $7,9 \text{ g/cm}^3$ a na základe obdobia, v priebehu ktorého prebiehala korózia, sa vypočíta rýchlosť korózie a udáva sa ako hrúbka strateného kovu v $\mu\text{m/rok}$.

Výsledky sú zhrnuté v nižšie uvedenej tabuľke 2:

Tabuľka 2 – rýchlosť korózie bez ochrany

Deň číslo	$-E_c$ (mV)	Rýchlosť korózie $\mu\text{m/rok}$	Účinnosť
10	360	385	0
140	355	210	0
180	360	220	0

Ako sa dalo očakávať, rýchlosť korózie je oveľa vyššia po 10 dňoch ako po 140 dňoch a rýchlosť po 180 dňoch nie je oveľa vyššia ako po 140 dňoch. Testovanie sa prerušilo po 180 dňoch, keďže sa zdalo, že rýchlosť korózie dosiahla v podstate konštantnú priemernú rýchlosť približne $220 \mu\text{m/rok}$.

Účinnosť sa uvádza ako nulová, pretože tu nie je žiadna ochrana.

V druhej sérii experimentov na meranie účinku elektroosmotického ošetrovania zabezpečeného elektroosmotickým prúdom sa každá čerstvo kondicionovaná betónová vzorka umiestni do nádoby 10 a nechá sa tam 10 dní, v priebehu ktorých sa každý deň meria E_c . Po 10 dňoch a spoľahlivom zmeraní E_c sa zapne prúd na elektroosmotické ošetrovanie, aby sa odstránilo čo najviac iónov z betónu, pričom sa udržiava napätie EP prúdu na 36 V a EP sa nechá meniť podľa tejto hodnoty. Toto napätie, pri ktorom sa majú robiť merania prúdu na elektroosmotické ošetrovanie, sa zvolilo ľubovoľne na 36 V, pretože toto nízke napätie nie je nebezpečné pre ľudí. Zaznamenáva sa účinok EP počnúc koncom prvého dňa, kedy sa zapol. Výsledky sú zhrnuté v nižšie uvedenej tabuľke 3:

Tabuľka 3 – rýchlosť korózie s EP prúdom, žiadna katodická ochrana

Deň č.	EP μA	$-E_c$ mV	$\mu\text{m/rok}$	Rýchlosť korózie %	Účinnosť
1	700 – 800	320	165	25	
5	300 – 400	320	105	52	
10	100 – 200	280	70	68	
180	50 – 100	320	45	79	

Ako sa dalo očakávať, vzhľadom na to, že koncentrácia solí je spočiatku vysoká, množstvo EP prúdu pretekajúceho pri 36 V je vysoké – 700 – 800 μA . Po 10 dňoch je odstránený dostatok korozívnych iónov z betónu, aby sa tok EP prúdu zmiernil na rozmedzie 100 – 200 μA , v ktorom rozmedzí je rýchlosť korózie 70 $\mu\text{m/rok}$; a po 180 dňoch je množstvo pretekajúceho EP prúdu pri 36 V znížené na 100 – 200 μA , v ktorom rozmedzí je rýchlosť korózie 45 $\mu\text{m/rok}$. Je evidentné, že v priebehu obdobia 170 dní sa rýchlosť korózie ešte neznížila na polovicu a ďalšie zlepšenie rýchlosti korózie bude oveľa pomalšie ako v prvej časti 180-dňového obdobia. Avšak množstvo EP prúdu pretekajúceho po období len 10 dní je približne jedna pätina počiatočného prúdu (priemerný počiatočný prúd je 750 μA ; po 10 dňoch je priemerný prúd 150 μA).

V tretej sérii experimentov na meranie účinku konvenčnej katodickej ochrany samotnej po vyčistení pomocou EP sa každá čerstvo kondicionovaná betónová vzorka umiestni do nádoby 10 a nechá sa tam 10 dní, v priebehu ktorých sa každý deň meria E_c . Po 10 dňoch sa zapne priložený katodický prúd pri uvedenom E_p udávaný ako záporná hodnota v milivoltoch voči vodíkovej elektróde, aby sa rebierkovej tyčovej výstuži poskytla katodická ochrana. Udané hodnoty E_c a E_p sú hodnoty namerané po 180 dňoch. Výsledky sú zhrnuté v nižšie uvedenej tabuľke 4:

Tabuľka 4 – rýchlosť korózie s katodickou ochranou

Deň č.	$-E_c$ (mV)	$-E_p$ (mV)	CD mA/m ²	Rýchlosť korózie $\mu\text{m}/\text{rok}$	Účinnosť %
180	355	385	20	167	28
180	335	390	40	132	40
180	350	415	60	94	57
180	340	465	120	41	81
180	355	520	200	11	95

Ako sa dalo očakávať, rýchlosť korózie po 180 dňoch je oveľa vyššia pri nižšej prúdovej hustote ako pri vyššej prúdovej hustote. Priložený katodický prúd CP sa zapol po zdvojnásobení prúdu (spotreba prúdu stúpla o faktor 2). Táto úroveň zvýšeného CP prúdu bola zvolená ľubovoľne na základe ekonomických úvah; kde je cena prúdu nízka, zvolený faktor môže byť 3 alebo viac. Tento relatívne vysoký prúd (zdvojnásobený), ktorý je väčšinou ešte hospodárny, poskytuje prúdovú hustotu 200 mA/m², pri ktorej je rýchlosť korózie 11 $\mu\text{m}/\text{rok}$. Táto rýchlosť sa považuje za prijateľnú, pretože v mierke reálneho času zodpovedá približne 50 rokom. Keďže rýchlosť korózie po 180 dňoch bez ochrany je 220 $\mu\text{m}/\text{rok}$, účinnosť sa vypočíta ako $(220-11)/220$, čo je 95 %.

Aby sa ukázal účinok použitia elektroosmotického ošetrovania len na krátky čas dostatočný na odstránenie časti korozívnych iónov, ale ktorý necháva dostatok iónov v betóne, aby bola následná katodická ochrana prekvapujúco účinná, uskutočnila sa štvrtá séria experimentov. V tejto štvrtej sérii, aby sa zmeral účinok katodickej ochrany po odstránení len takého množstva iónov, aké zabezpečí 10 dní EP prúdu, každá vzorka sa vystaví pôsobeniu 36 V elektroosmotického prúdu ako vzorky v druhej sérii experimentov.

EP sa vypne, keď sa vzorky čiastočne ochudobnia o korozívne ióny v priebehu 10 dní a potom sa podrobia priloženému prúdu CP na katodickú ochranu v priebehu 180 dní. Korozný potenciál E_c počas každého obdobia sa meria oproti referenčnej elektróde. Výsledky sú zhrnuté v nižšie uvedenej tabuľke 5:

Tabuľka 5 – rýchlosť korózie s katodickou ochranou po 10 dňoch EP

Deň č.	$-E_c$ mV	$-E_p$ (mV)	CD mA/m ²	Rýchlosť korózie $\mu\text{m}/\text{rok}$	Účinnosť %
180	305	425	35	32	85
180	310	480	55	9	96

Teraz je zrejmé, že pri počiatocnom „vyčistení“ iónov z predkondicionovaného betónu elektroosmotickým ošetrením následná katodická ochrana pri v podstate rovnakej úrovni ako v tretej sérii experimentov (pozrite tabuľku 4) poskytuje v zásade rovnaké rýchlosti korózie ale pri oveľa nižšej prúdovej hustote. Napríklad pri katodickej ochrane v tabuľke 4 pri prúdovej hustote 120 mA/m² je rýchlosť korózie 41 $\mu\text{m}/\text{rok}$; ale po počiatocnom „vyčistení“ trvajúcim 10 dní a potom pri poskytnutí katodickej ochrany priloženou prúdovou hustotou len 35 mA/m² sa získava v zásade rovnaká rýchlosť korózie 32 $\mu\text{m}/\text{rok}$. Inak povedané, v zásade rovnako vysokú úroveň ochrany možno dosiahnuť s prúdovou hustotou približne 3,5 krát nižšou, než ako je potrebná inak, čo vedie k neočakávaným úsporám v prevádzkových nákladoch.

Uvedený spôsob ošetrovania kontaminovaného betónu zahŕňa dodanie v podstate neutrálneho elektrolytu na povrch štruktúry; aplikovanie prvého jednosmerného prúdu medzi oceľou v štruktúre a elektródou umiestnenou v susedstve vonkajšieho povrchu štruktúry, aby ióny migrovali k elektróde, kým tok prúdu nebude v zásade konštantný; prerušenie prvého jednosmerného prúdu; aplikovanie priloženého katódového prúdu, kým nestúpne na nevhodnú úroveň a opakovanie prvého kroku. Tento postup možno opakovať ľubovoľne dlhý čas. Je evidentné, že použitím cyklu ošetrenia počnúc počiatocným elektroosmotickým ošetrením na relatívne krátky čas a potom katodickou ochranou priloženým prúdom, kým sa nezdvajnasobí, možno udržiavať rýchlosť korózie len 11 $\mu\text{m}/\text{rok}$ na neurčito pri prúdovej hustote len 200 mA/m².

V druhom uskutočnení vynálezu sa zisťuje, že EP aj CP prúdy možno použiť súbežne. Hoci prúd tečúci medzi jedným párom elektród môže mať mierny účinok na prúd tečúci cez iný pár, tieto dva prúdy sú navzájom v podstate nezávislé. Rovnako ako

predtým sa kontaminované vzorky najprv vystavia pôsobeniu EP prúdu pri 36 V, kým nedosiahne nízku úroveň, čo indikuje, že veľká časť korozívnych iónov v betóne bola z betónu odstránená. Potom namiesto vypnutia EP prúdu pred zapnutím CP prúdu (ako v prvom uskutočnení) sa zapne CP prúd, zatiaľ čo EP prúd sa nechá zapnutý. Údaje sú uvedené pre CP dodávaný pri dvoch rôznych úrovniach, keď EP dosiahne úroveň 100 μA a 50 μA . Rovnako ako predtým, nižšie uvedený E_c je nameraný oproti referenčnej elektróde na konci 180-dňového obdobia. Výsledky sú zhrnuté v nižšie uvedenej tabuľke 6:

Tabuľka 6 – rýchlosť korózie so súbežným EP a CP prúdom

Deň č.	EP μA	$-E_c$ mV	$-E_p$ (mV)	CD mA/m^2	Rýchlosť korózie $\mu\text{m/rok}$	Účinnosť %
180	100	360	470	22	32	85
180	100	360	530	36	10	95
180	50	305	420	30	24	89
180	50	310	470	40	7	97

Z vyššie uvedeného je zrejmé, že súbežné využitie EP a CP prúdov poskytuje v podstate rovnakú alebo nižšiu rýchlosť korózie ako rýchlosti získané pri postupnej aplikácii a pri nižšej prúdovej hustote.

Uvedený spôsob ošetrovania ocelou vystuženej betónovej štruktúry zahŕňa dodanie v podstate neutrálneho elektrolytu na povrch štruktúry, aplikovanie prvého jednosmerného prúdu medzi ocelou v štruktúre a elektródou umiestnenou v susedstve vonkajšieho povrchu štruktúry, aby ióny migrovali k elektróde, a súbežnú aplikáciu priloženého katodického prúdu.

Tento systém zahŕňa masu betónu, kde oceľové prvky sú elektricky navzájom prepojené; vonkajší zdroj energie reagujúci na programovateľný ovládač, do ktorého sa odovzdávajú údaje zo senzora, zapojené do série. Programovateľný ovládač reaguje na vonkajší zdroj energie aj na senzor. Anóda mimo štruktúry je umiestnená v blízkosti ocele

a pripojená na vonkajší zdroj energie. Prvá katóda je tiež pripojená na vonkajší zdroj energie, ktorý poskytuje dostatočný prúd na zabezpečenie migrácie iónov a vytvorenie elektroosmotického toku iónov von z betónu. Oceľ je katodicky pripojená k vonkajšiemu zdroju energie, ktorý je dostatočne elektronegatívny vzhľadom na nameraný stabilný potenciál, aby sa potlačil katodický potenciál ocele na vopred určené rozmedzie; a zdroj energie udržiava priložený prúd pri potenciáli od približne 50 mV do menej ako 300 mV nižší ako korózný potenciál rebierkovej tyčovej výstuže.

Prekvapujúci účinok zlepšenia hospodárnosti na prevádzku systému podľa tohto vynálezu je ukázaný graficky porovnaním nízkych prúdových hustôt, pri ktorých pracuje nový systém s poskytnutím výbornej ochrany, s konvenčnou katodickou ochranou, ktorá sa musí používať pri vysokých prúdových hustotách, ktoré sú momentálne ekonomicky nepraktické, aby sa získala porovnateľná ochrana. Ako vidno na obrázku 4(a), ktorý je grafom závislosti účinnosti (%) od prúdovej hustoty danej v mA/m^2 (miliampére/štvorcový meter) spočiatku bez priloženého prúdu, na získanie účinnosti 81 je potrebná prúdová hustota 120 mA/m^2 (pozrite tabuľku 4). Ako vidno na obrázku 4(b), pri rovnakej prúdovej hustote 120 mA/m^2 je rýchlosť korózie $41 \mu\text{m/rok}$. Ako vidno v tabuľke 6, porovnateľné rýchlosti korózie sa získajú pri oveľa nižších prúdových hustotách.

P A T E N T O V É N Á R O K Y

1. Spôsob ošetrovania ocelou vystuženej betónovej štruktúry, vyznačujúci sa tým, že zahŕňa:
 - (a) dodanie v podstate neutrálneho elektrolytu na povrch štruktúry,
 - (b) aplikovanie prvého jednosmerného prúdu medzi oceľ v štruktúre a elektródu umiestnenú v susedstve vonkajšieho povrchu štruktúry, aby sa zabezpečila migrácia iónov k elektróde, kým tok prúdu nebude v podstate konštantný,
 - (c) prerušenie prvého jednosmerného prúdu,
 - (d) aplikovanie priloženého katodického prúdu, kým nestúpne na nevhodnú úroveň, a
 - (e) opakovanie kroku (a).
2. Spôsob podľa nároku 1, vyznačujúci sa tým, že zahŕňa kontinuálne meranie korózneho potenciálu na povrchu rebierkovej tyčovej výstuže voči referenčnej elektróde.
3. Spôsob podľa nároku 1, vyznačujúci sa tým, že priložený prúd sa dodáva, kým prúdová hustota nestúpne nad 100 mA/m^2 .
4. Spôsob ošetrovania ocelou vystuženej betónovej štruktúry, vyznačujúci sa tým, že zahŕňa:

dodanie v podstate neutrálneho elektrolytu na povrch štruktúry,

aplikovanie prvého jednosmerného prúdu medzi oceľ v štruktúre a elektródu umiestnenú v susedstve vonkajšieho povrchu štruktúry, aby sa zabezpečila migrácia iónov k elektróde, a súčasne aplikovanie priloženého katódového prúdu.
5. Systém na údržbu betónovej štruktúry vystuženej oceľovými prvkami v podstate bez korózie týchto prvkov, vyznačujúci sa tým, že pozostáva z nasledujúcich prvkov:

masi betónu, kde oceľové prvky sú navzájom elektricky prepojené;

vonkajšieho zdroja energie ovládateľného programovateľným ovládačom, do ktorého sa odovzdávajú dáta zo senzora, zapojený do série, pričom tento programovateľný ovládač reaguje na vonkajší zdroj energie aj senzor;

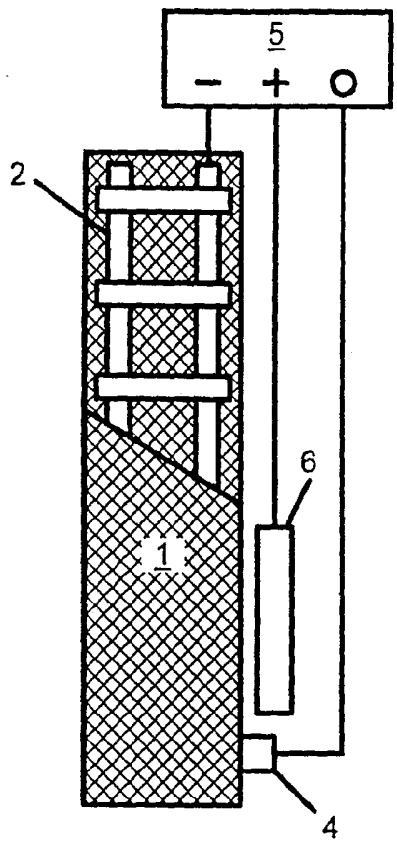
prostriedku na anodické pripojenie vonkajšieho zdroja energie potenciálu na anódu umiestnenú v blízkosti oceľových prvkov;

prostriedku na katodické pripojenie prvej katódy na vonkajší zdroj energie, ktorý poskytuje dostatočný prúd na vytvorenie elektroosmotického toku iónov von z betónu;

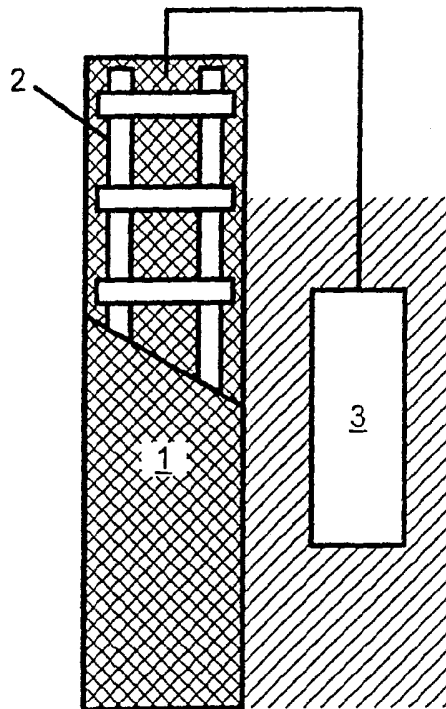
prostriedku na katodické pripojenie oceľových prvkov k vonkajšiemu zdroju energie, ktorý je dostatočne elektronegatívny vzhľadom na nameraný stabilný potenciál, aby sa potlačil katodický potenciál ocele na vopred určené rozmedzie; a

prostriedku na udržiavanie prúdu od tohto zdroja elektronegatívneho potenciálu pri potenciáli v rozmedzí od približne 50 mV do menej ako 300 mV nižšom ako korózný potenciál na oceľových prvkoch.

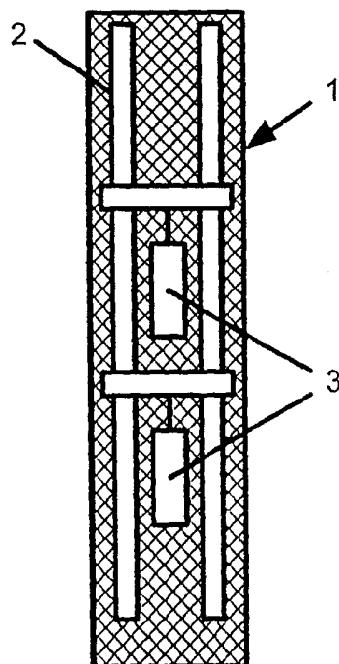
1/4



OBR.1(a)

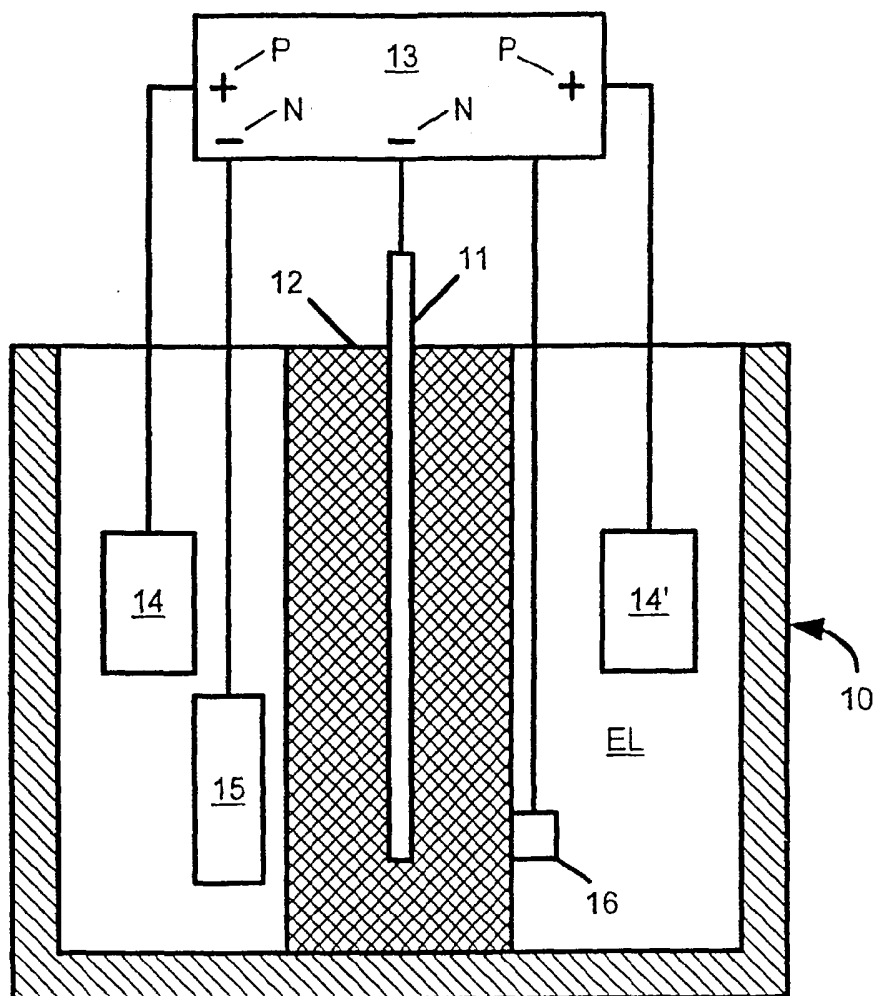


OBR.1(b)



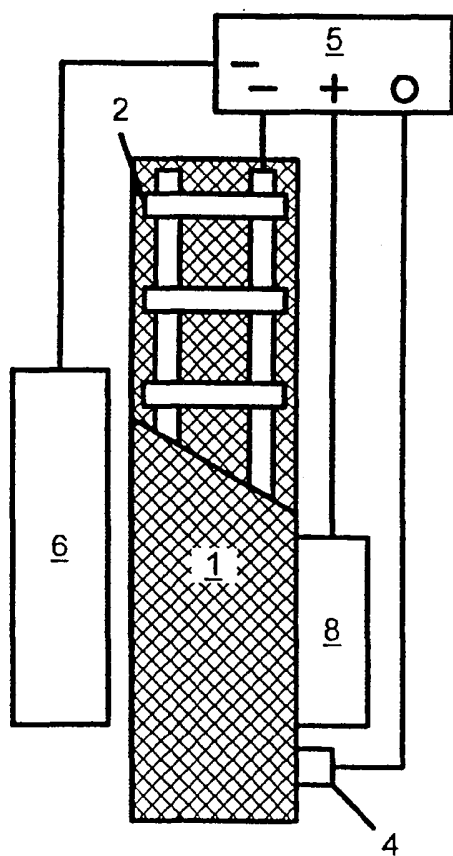
OBR.1(c)

2/4

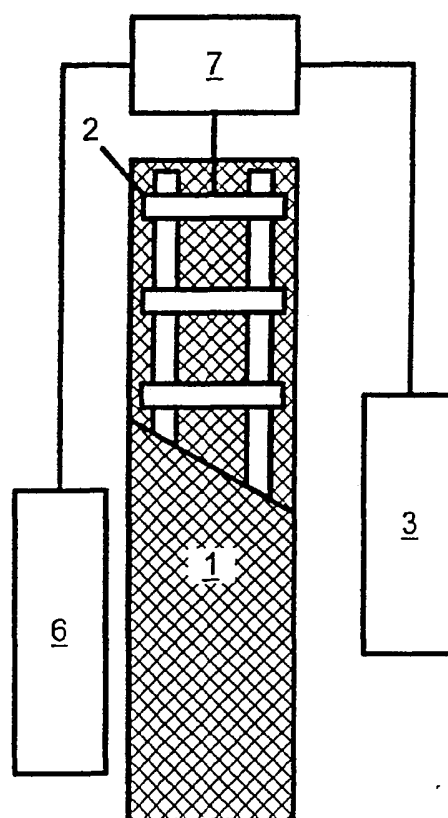


OBJ. 2

3/4

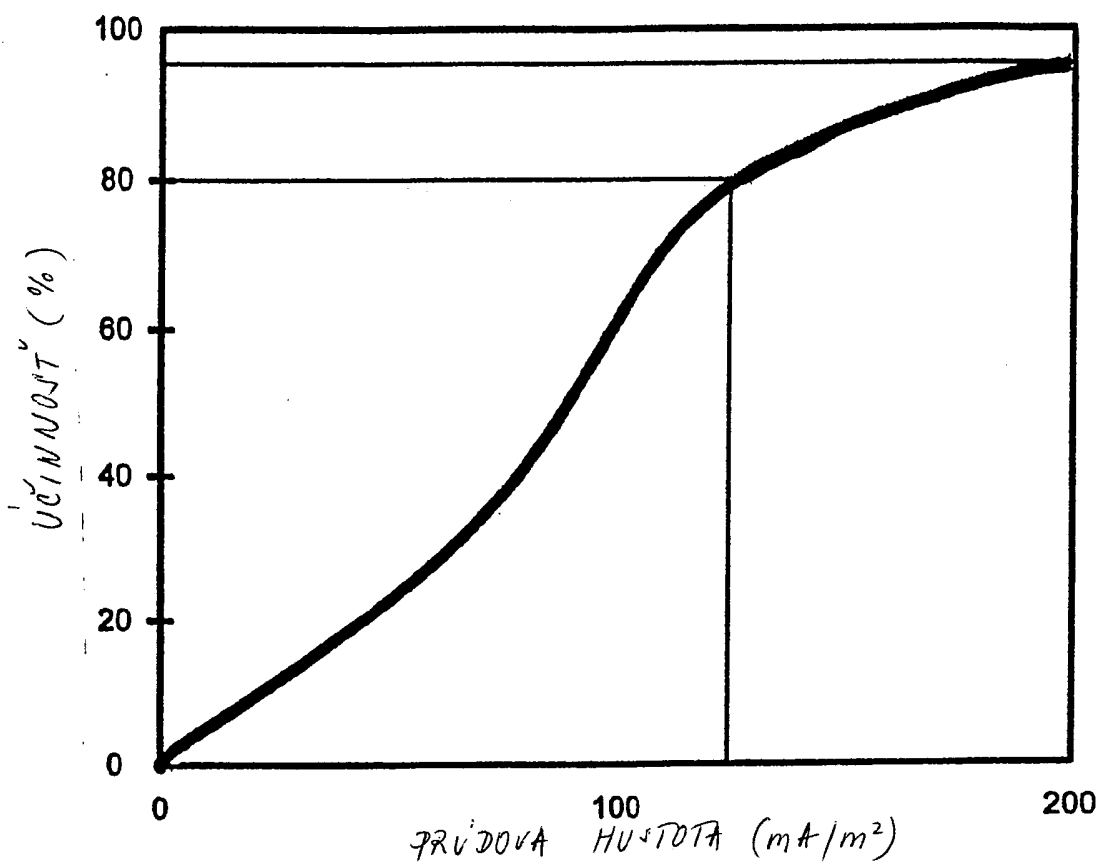


OBR. 3(a)

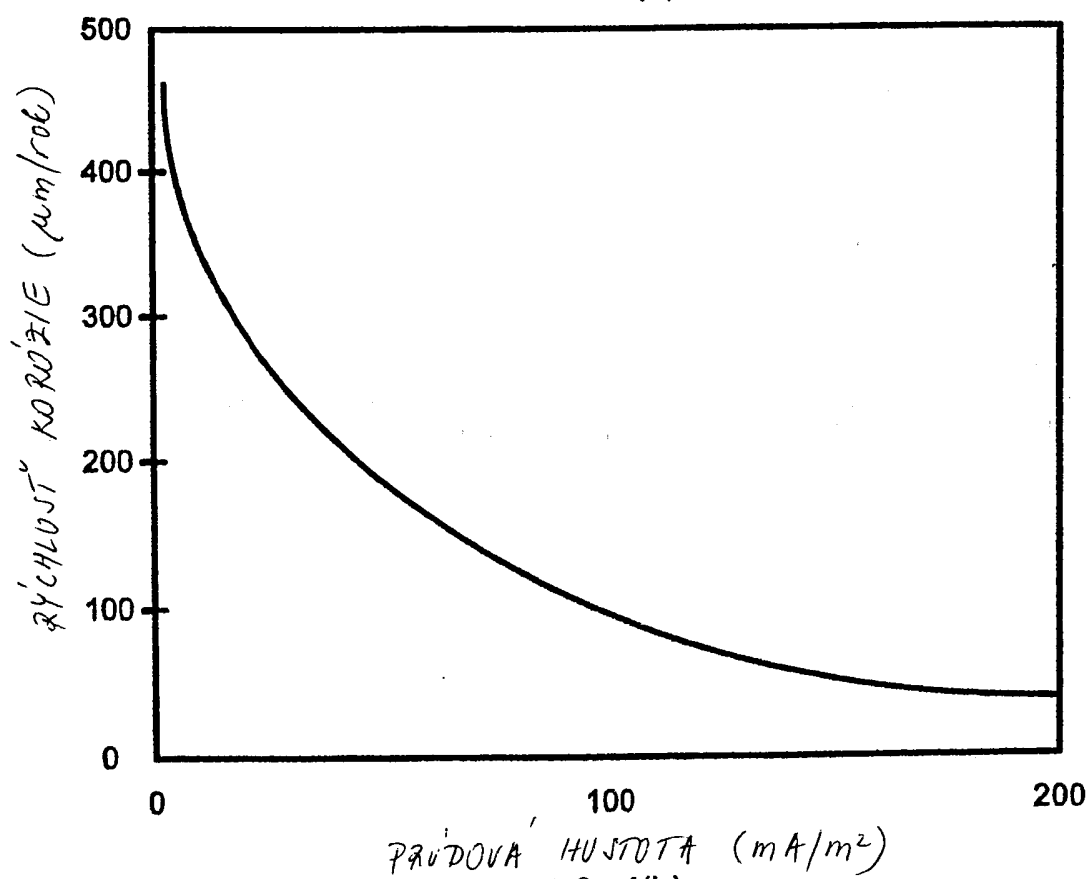


OBR. 3(b)

4/4



OBR. 4(a)



OBR. 4(b)