

Elektroosmóza

Před časem jsme žádali čtenáře v naší rubrice "Čtenáři se ptají" o sdělení zkušeností s elektroosmózou - tj. o podrobnosti elektrického vysoušení zdí. Dostali jsme do redakce několik příspěvků, které jsme dali posoudit jednomu z pracovníků, který se elektroosmózou zabývá. Posouzené příspěvky jsme podle jeho návrhu zčásti upravili a uveřejňujeme je v tomto článku. Chtěli bychom však upozornit na jednu podstatnou skutečnost: o elektroosmóze vyšlo u nás i ve světové literatuře mnoho článků, teoretických i vycházejících z praxe. Velmi často se stává, že si různá fakta v těchto člancích odporují. Při podrobnějším studiu problémů kolem elektroosmózy lze zjistit, že především praktická realizace elektroosmotického vysoušení závisí na konkrétních podmínkách, při nichž se elektroosmóza používá, tj. na stáří objektu, materiálu zdiva apod. Z toho vyplývá, že je vždy třeba před zahájením prací na elektroosmóze vyžádat si posudek odborníka, který určí, kterou metodu při vysoušení aplikovat.

Jak již bylo řečeno, existuje ve světě i u nás mnoho způsobů instalace elektroosmotické clony, základní myšlenka je však stejná. Instalací elektrod se zdivo vysouší, v další fázi po vysoušení clona funguje jako preventivní ochrana proti vzníkaní vlhkosti nad úroveň clony. Materiály, které se pro instalaci používají (železo, měď, hliník, uhlíky či vodivé nástřiky), jsou pro ten či onen objekt určovány na základě průzkumu a měření. Znamená to, že není možno použít právě dostupné, případně levné materiály a očekávat zázračné účinky elektroosmózy.

Jako příklad je možno uvést jeden z objektů, na němž (na základě projektu ing. Jiřího Kose a podle nejnovějších výzkumů VÚPS) byla použita elektroosmóza. Jedná se o zámek v Rychnově n. Kněžnou. Celá soustava byla zapojena v srpnu 1969, během předběžných měření v prvních měsících se ukázala opodstatněnost použitého způsobu. Po půlroční funkci clony je zeď věže zámku (jež byla na první pohled mokrá, rostly na ní řasy a plísně, malta mezi kameny se rozpadala) naprosto suchá.

Instalace elektroosmózy na objektech, které nedosahují rozměrů zámků, veřejných budov atd. je téměř shodná, rozdíl je pouze v jednodušším provedení celé instalace. Především u těchto objektů (rodinné domky, kina, restaurace atd.) je třeba dělat veškeré práce velice pečlivě, neboť velice často nemají stejně staré zdivo, části moderních přístavků jsou spojeny s původním zdivem, čímž vznikají problémy, které je třeba řešit individuálně - objekt za objektem. Právě pro tyto odlišnosti není možno používat elektroosmózu šablonovitě.

Práce spojené s odstraněním vlhkosti na objektech je třeba především vidět jako celý komplex problémů. Práce začínají předběžným průzkumem, pokračují odstraněním znehodnocené omítky, ošetřením zdiva, které je následkem vlhkosti zbaveno důležitých látek a samotnou instalací clony; končí odstraněním všech okolností, které mohou přímo podporovat další vlhnutí objektu.

ELEKTROOSMOTICKÉ VYSOUŠENÍ

Zdeněk Appl

Způsoby elektroosmotického vysoušení lze použít ve všech případech, kde je vlhkost zdiva způsobena osmotickým vztlínáním vody. Nepomůže tam, kde voda prostě na zeď zatéká.

Místnosti, jejichž stěny mají více než 3 % vlhkosti, nejsou způsobilé pro trvalý pobyt lidí. Za úspěch lze předpokládat zmenšení stupně vlhkosti po vysoušení pod 2 % až 1 % váhové vlhkosti zdiva. Některými metodami lze dosáhnout vysoušení až do 0,5% vlhkosti.

Je dost známých způsobů více či méně vhodných, které se snažily zlepšit podmínky k bydlení nebo zachovat historické objekty.

V různých státech vznikaly různé metody vysoušení zdiva, tzv. elektroosmotického vysoušení, které patří svou podstatou do skupiny elektrokinetických jevů.

Velmi dobrá metoda byla vyvinuta zahraniční společností Licencia a patentována v několika státech. O této metodě vydalo TEI ministerstva stavebnictví dvě informace v letech 1963 a 1964 pod č. 453 a 37.

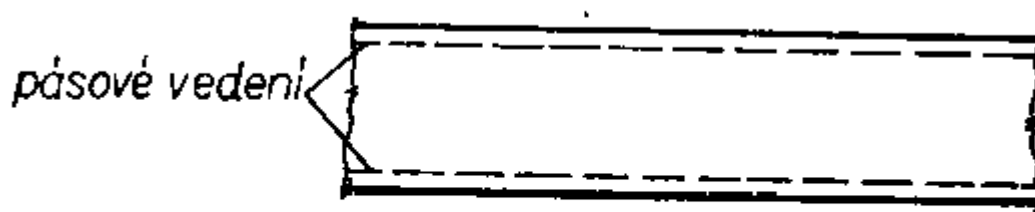
Podstata metod

Obvykle se udává, že při vztlínání vody v porézních látkách (zeminách, zdivu) vzniká elektrické pole, jehož kladný pól je ve zdivu a záporný pól v okolní zemině. Není tomu tak vždycky. Kromě pohybu vody je ovšem ještě mnoho dalších způsobů, jak může v zemině a ve zdivu vzniknout elektrické pole. Není žádnou vzácností vznik elektrického pole při styku vody ve zdivu, která obsahuje menší množství soli, s vodou s větším obsahem soli (různost koncentrace). Polarita se zřejmě mění podle toho, jak stárne malta. Nové zdi mají obvykle pól kladný a v zemině je pól záporný, ve zdivech velmi starých (od 100 let výše) tomu bývá obvykle opačně.

Postup vysoušení zdiva elektroosmózou

Do vlhkého zdiva (z cihel) vyvrtáme šikmé díry o průměru 20 až 40 mm do hloubky 2/3 tloušťky zdiva. Rozteč děr se bude řídit vlhkostí zdiva a bývá u nejvlhčí zdi 350 mm (volí se až 800 mm). Díry se dělají obvykle asi 100 mm nad podlahou místnosti. Díry je třeba vrtat šikmo, aby do nich lépe zatékala speciální malta, která má být více hygroskopická než její okolí (obr. 1). Díry se propojují sběrným vedením v podélném žlábků.

U tlustších a kamenných materiálů volíme místo elektrod pásové vedení (z pásoviny) pod omítkou, které je nejméně pracné (obr. 1).



Obr. 1.

Materiál vodičů

Materiály pro elektrody¹, sběrné vedení a uzemnění je vhodné pro běžné použití zhotovit ze stejného materiálu, tj. např. z měděného vodiče o průměru 3 až 4 mm, z vodiče Fe - Zn nebo i z betonářské oceli. Doporučuje se jednotný materiál, neboť ve vlhkém zdivu vzniká galvanický člunek při použití různých materiálů.

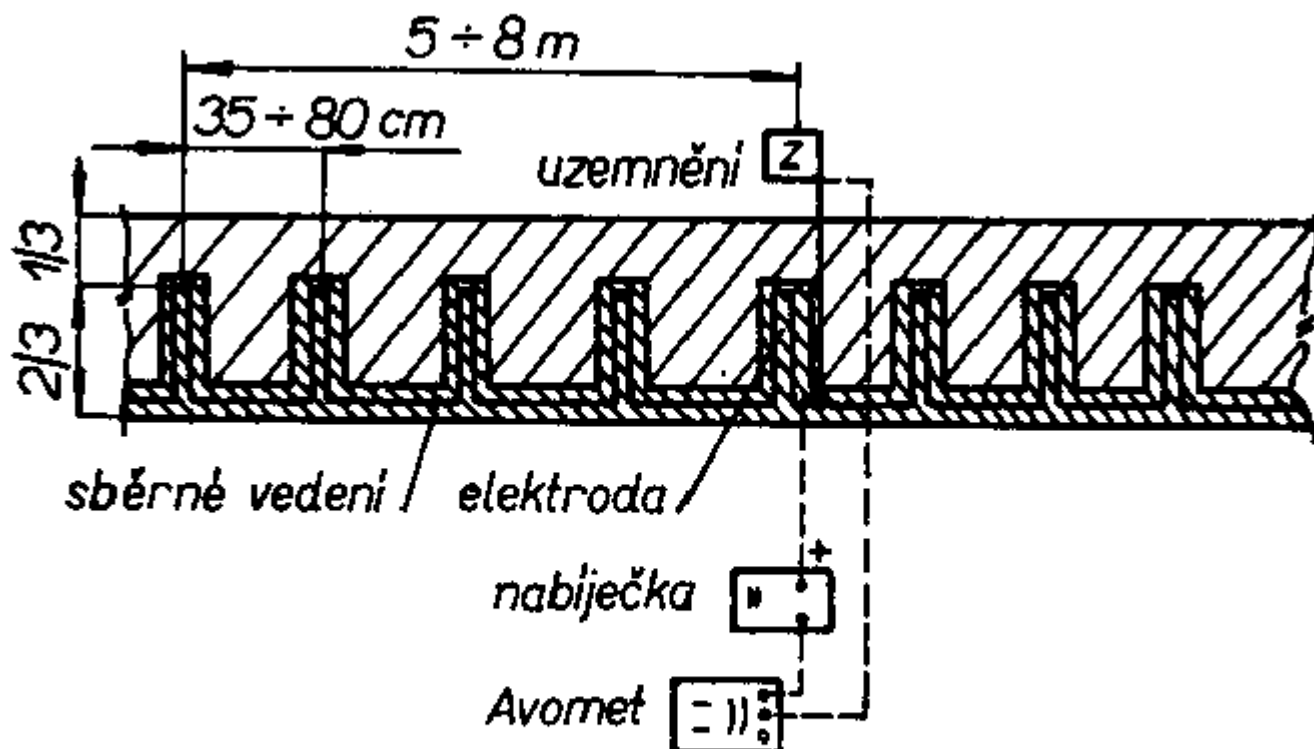
Vlastní instalace

Použijeme-li měděný vodič jakéhokoli průřezu, lze zařízení instalovat podle obr. 2. Elektrody jsou tvořeny smyčkami ze sběrného vedení v roztečích podle děr vyvrtaných ve zdivu.

Do vyvrtaných děr pro elektrody vtlačíme připravenou maltu a pak do nich vtlačíme elektrody a do podélného žlábků sběrné vedení. Sběrné vedení zakryjeme maltou a nakonec omítkou (až na místa svorek pro uzemnění).

Nyní je nutno celou instalovanou soustavu řádně uzemnit, aby měla co nejmenší přechodový odpor. Uzemnění má být uloženo v dosahu kapilární vztlínivosti (zdroje vlhkosti). Celá instalovaná soustava vodičů se uzemní ve vzdálenostech po 5 až 8 m. Pro vlastní uzemnění volíme desku, tyč nebo trubku ze stejného materiálu jako ostatní použité vodiče a ukládáme

do vykopané jámy v blízkosti vlhkého zdiva. Uložený zemnicí vodič zalejeme řídkým jílovým roztokem s přídavkem 10% skalice modré pro zvětšení vodivosti.



Obr. 2.

Uzemňovací desky nebo tyče propojíme se sběrným vodičem ze stejného materiálu který však musí být izolovaný (obr. 3). Na každých 5 až 8 m délky sběrného vedení musí být samostatné uzemnění. Spoje musí být zhotoveny objímkovými svorkami, nikoli např. pájením. Takto provedená instalace zajistí vysušení zdiva za 3 až 6 měsíců. Chceme-li celý pochod urychlit (na několik týdnů), můžeme použít běžnou nabíječku² pro akumulátory o napětí 6 nebo 12V a zapojit ji mezi zemnicí vodič a sběrné vedení. Pak kladný pól nabíječky spojíme se sběrným vedením, záporný pól se zemnicím vodičem přes měřidlo Avomet. Po skončení vysoušení zdiva propojíme uzemňovací vodič se sběrným vedením dokrátka.

V Německu se používají (místo elektrod zapouštěných do zdiva) elektrody z betonářské ocele, které se vloží do děr ve zdi a zvláštním zařízením se jejich objem zvětší tak, že přilnou k stěnám díry. Spoje jsou zhotoveny svařením a izolovány asfaltem.

Těchto aktivních metod (přídavný ss vnější zdroj) využívá např. fa Rentokill Laboratories Ltd. při vysoušení nových staveb těsně po omítnutí zdiva. Tím se podstatně urychlí vysoušení objektu a možnost nastěhování nájemníka, což má nesporný hospodářský přínos. Uvádí se z angl. pramenů vysoušení rodinného domku za 8 dnů při příkonu 3 kW.

Co je to elektroosmóza

Slávek Setnička

Vložíme-li do solu³ dvě elektrody a zapojíme stejnosměrný elektrický proud, pohybují se částice k jedné z elektrod, ačkoli nemusí být disociovány. Chovají se tedy jako elektrolyty. Pohyb koloidů v elektrickém poli

nazýváme elektroforézou. (Z toho lze usuzovat, že koloidy mají elektrický náboj. Např. soly zlata, stříbra, platiny a další se shromažďují u anody a mají tedy záporný náboj. U solů vizmutu, olova a jiných je tomu naopak. V průmyslu se používá elektroforézy k odprašování plynů). Nemůže-li se (u velmi koncentrovaných směsí) tuhá fáze pohybovat, potom se vlivem elektrického proudu pohybuje kapalná fáze a suspenze se odvodňuje. Dochází k elektroosmóze.

Elektroforéza a elektroosmóza byly zpozorovány již v roce 1808 profesorem Reussem. Podnětem se staly pokusy o rozkladu vody, který v roce 1800 objevili Nicholson a Garlisle. Reuss zjistil při průchodu elektrického proudu vodou v trubici tvaru U, v jejímž ohbí byl nasypán křemenný prášek, že voda vystoupila v tom rameni, v němž byla záporná elektroda. Prášek z křemene tu vlastně představoval diafragmu, v jejíž kapilárních prostorách se uplatňovala elektrická dvojvrstva s příslušným elektrokinetickým potenciálem. V roce 1846 zjistil Napier, že přísada kyselin a solí zmenšovala při elektroosmóze převod vody. Další pokusy s převodem kapalně fáze elektroosmózou dělal v roce 1852 G. Wiedemann. Při průchodu proudu I měřil množství kapaliny M převedené diafragmou. Poměr M/I byl velmi závislý na povaze použité diafragmy a kapaliny. Klesal přibližně úměrně s rostoucí koncentrací soli přidávané do vody. Tuto závislost zkoumal podrobněji tak, že měřil hydrostatický tlak p , který zmenšuje množství převedené kapaliny. Ukázalo se, že osmotický tlak je přímo úměrný proudu I , měrnému odporu kapaliny r , tloušťce diafragmy d a nepřímo úměrný ploše diafragmy P . Mohl tedy psát rovnici:

$$p_0 = k \frac{Idr}{P}.$$

Z Ohmova zákona je poměr Idr/P roven rozdílu napětí $U_1 - U_2$ na diafragmě. Rovnici tedy přepsal do tvaru: $p_0 = k (U_1 - U_2)$. Vyjádřeno slovy to znamená, že elektroosmotický tlak p_0 je pro roztoky různé koncentrace přibližně úměrný potenciálovému rozdílu na diafragmě. G. Freund však zjistil, že Wiedemannem tušená přibližná úměrnost mezi tlakem p a měrným odporem kapaliny není obecná. Quinke, který používal při studiu elektroosmózy místo diafragmy jednu skleněnou kapiláru a měřil posun menisku po průchodu elektrického proudu, zjistil, že délka posunu byla úměrná množství elektriny prošlé kapalinou a nepřímo úměrná průřezu kapiláry. Z těchto pokusů byly empiricky stanoveny zákony elektroosmózy.

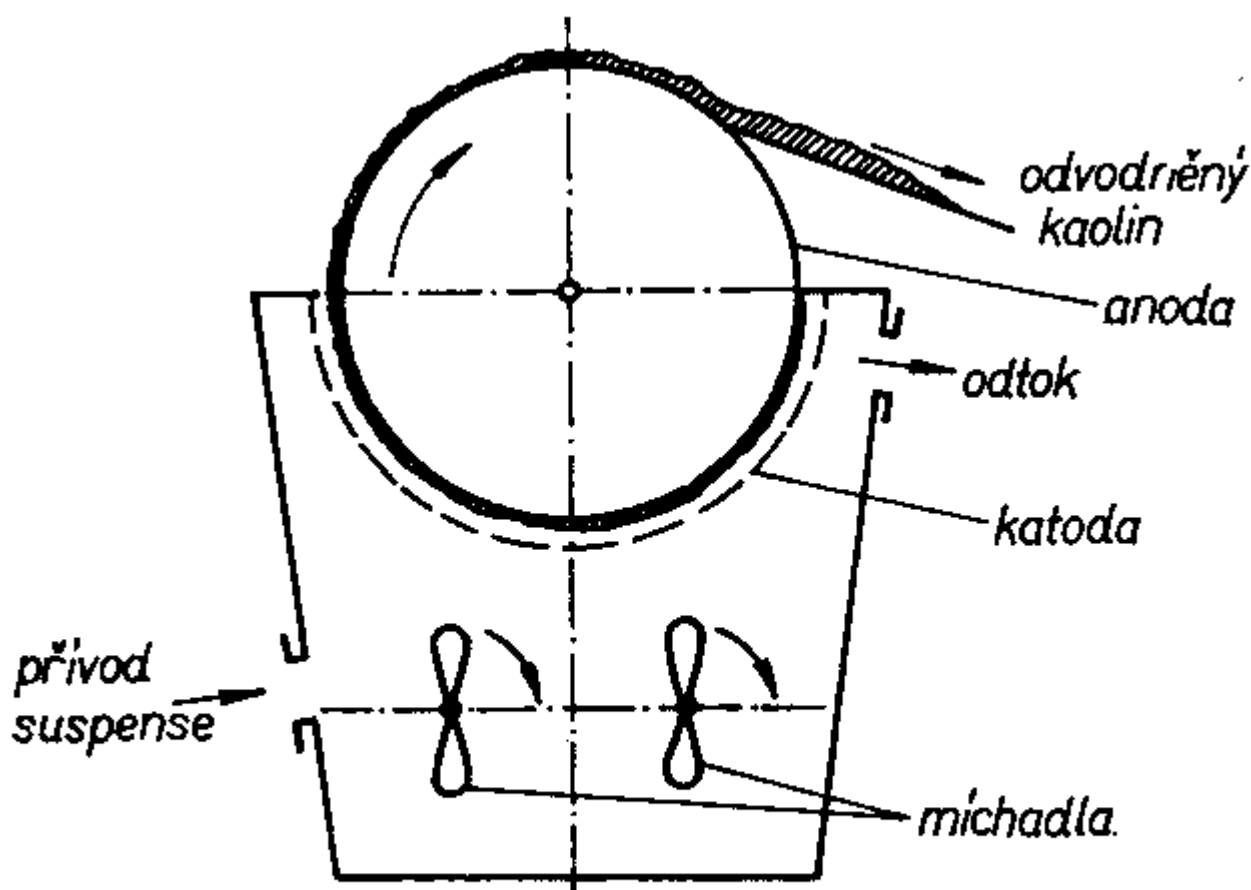
Z výsledků experimentů vypracoval Helmholtz matematickou teorii elektrokinetických jevů. Říká, že příčinou převodu kapalně fáze v kapilárních prostorách je rozdíl potenciálu, který se vytváří na styčné ploše mezi tuhou a kapalnou fází. Nabíjí-li se povrch tuhé fáze například záporně, ukládá se kladný náboj ve vrstvě kapaliny v malé vzdálenosti od stěny. Mezi stykovou vrstvou kapaliny a tuhé látky je tedy elektrická dvojvrstva, která se dá přirovnat k molekulárnímu kondenzátoru. Z toho vznikla představa, že elektrické pole působí na elektrické náboje ve vrstvě kapaliny přiléhající k povrchu tuhé látky opačně elektricky nabitě, a že tato vrstva uvedená do pohybu strhuje sebou v důsledku vnitřního tření všechnu ostatní přilehlou kapalinu. Tuto teorii pak matematicky formuloval. Další, kdo formulovali rovnici elektroosmózy, byli například Smoluchowski a Penin. Smoluchowski ještě zobecnil Helmholtzovu teorii pro libovolný tvar kapilárních prostorů. Na základě tohoto Smoluchowského zobecnění se dají propočítávat pokusy s elektroosmózou a proudový potenciál na diafragmách, aniž by bylo potřeba znát velikost jejich pórů. Jenže Illig a Schoenfeldt zjistili, že rovnice pro elektroosmózu neplatí přesně. Při stanovení elektrokinetického potenciálu na keramické diafragmě zjistili, že se elektrický náboj zmenšuje se zvětšující se porézností diafragmy, přestože z rovnice pro elektroosmózu změna nevyplývá.

Mechanismus převodu kapaliny se vykládá takto: část dvojvrstvy v kapalině se skládá ze dvou dalších vrstev. Jedna je pevně fixována na tuhé fázi, druhá se dá snadno odtrhnout. Solvatované ionty jsou elektrickým polem uvedeny do pohybu. Samozřejmě, že vlivem viskozity se uvedou do pohybu i molekuly zbývající kapaliny, takže u stěny tuhé látky vzniká tento spád rychlostí proudící kapaliny: na rozhraní tuhé látky a kapaliny je rychlost kapaliny nulová. Dále roste až do určité velikosti, které dosahuje ve velmi malé vzdálenosti. V tomto stavu je strháván do pohybu i zbývající obsah kapiláry.

Elektrické pole v kapiláře způsobuje pohyb iontů. Kladné ionty putují ke katodě, záporné k anodě. Takový průchod proudu roztokem je způsobován elektrolytickým vedením. Současně nastává i pohyb kapaliny v důsledku elektrické dvojvrstvy, kterou jsme popsali. Tento pohyb elektrických nábojů se nazývá konvenční proud. Při elektroosmóze přistupuje tedy k proudu elektrolytickému i proud konvenční, zprostředkovaný pohybem elektricky nabitých kapalin v pohyblivé části elektrické dvojvrstvy. Proud konvenční se dá experimentálně zjistit jen tehdy, je-li galvanický proud velmi malý. Toho dosáhneme tím, že pracujeme s kapalinami velmi nepatrné velikosti. Teorii povrchové vodivosti zpracoval Smoluchowski.

Spolu s existencí konvenčního proudu při elektroosmóze souvisejí změny koncentrace elektrolytu po obou stranách diafragmy. Ve vodných roztocích to vypadá přibližně takto: nastává-li pohyb kapaliny při elektroosmóze od kladné elektrody k záporné, klesá v katodovém prostoru odděleném diafragmou koncentrace neutrální soli a současně roste koncentrace iontů hydroxilových (vodíkových). Opačně je tomu při pohybu kapaliny elektroosmoticky převáděné od katody k anodě.

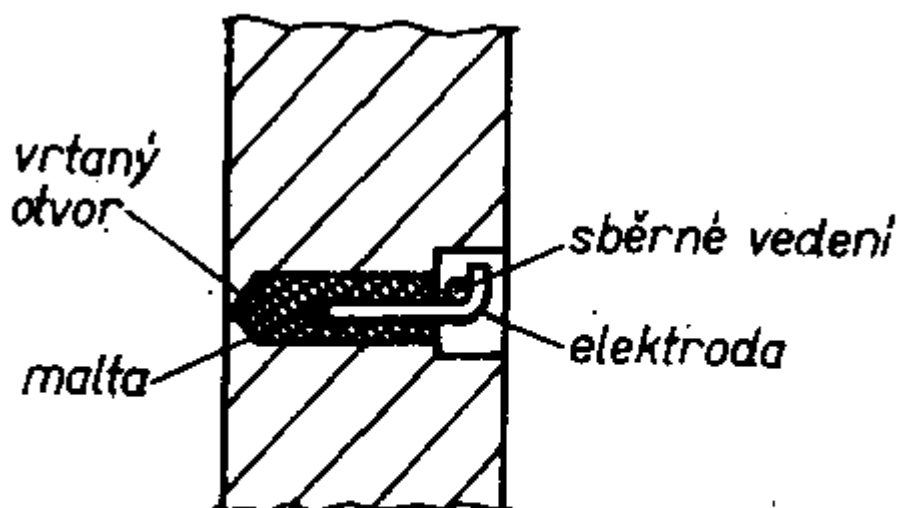
Elektroosmóza se použila už v roce 1912 k technickému odvodňování rašeliny. Tímto způsobem lze snížit obsah vody v rašelině jen na 65 %, protože při dalším odvodňování přeruší vrstva suché rašeliny u anody průchod elektrického proudu. Hospodářsky se tato aplikace neosvědčila. Osvědčilo se však zmenšení obsahu rozpuštěných solí ve vodě. V podstatě jde zde o elektrolytické putování iontů v čištěné vodě k jednotlivým elektrodám. Aby se zabránilo zpětné difúzi, dávají se před elektrody diafragmy a současně se vyplachováním odstraňují ionty z elektrodových prostorů. Tímto způsobem se dá získat voda s vodivostí až $3 \cdot 10^{-6} \text{ Ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$. Byla také vypracována metoda na vysrážení kaučukové směsi. Elektroosmoticky se též čistí kaolin. Kaolin se plaví a vzniklá suspenze se elektroosmoticky zahušťuje. Tato operace se děje v osmotickém stroji (obr. 4). Lze vyčistit i surový glycerin, který má až 0,2 % popelovin; po tomto pochodu nemá žádný. Elektroosmoticky můžeme i impregnovat tkaniny nebo čistit medikamenty. Dokonce se dá elektroosmoticky urychlit stárnutí dřeva. B. A. Ržanicyn použil elektroosmózu při stavbě Severní dráhy k vysoušení terénu.



Obr. 4. Osmotický stroj

Pro praktickou ukázkou použití elektroosmózy jsem vybral základní informace pracovního postupu při trvalém vysušování zdí podle čs. patentu 112360.

Nejdříve je třeba zeď vysušit a pak vytvořit nenasákovou vrstvu. Vysušování zdí pomocí elektroosmózy je patentováno v řadě států. Tento způsob je vhodný zejména tam, kde se nedají použít jiné způsoby. Vysušování probíhá na základě existence elektrického napětí mezi dvěma body vlhkého zdiva (horní hranicí vlhkosti a základy). Čím větší je rychlost vztlínání vlhkosti, tím větší je i napětí. Zkratujeme-li toto napětí (většinou uzemněním některé části vlhkého zdiva), mění se směr vztlínání a dochází tedy k vysušování. Při pasivním způsobu je rychlost vysušování menší než při aktivním. Pasivní způsob je prosté uzemnění, aktivní je založen na připojení elektrického napětí. Při pasivním způsobu můžeme dosáhnout vysušení až pod 2 % vlhkosti (vlhkost už není znatelná, naprosto suché zdivo má 0,5 % vlhkosti). Elektrody pro elektroosmotické vysušování se instalují takto: nad podlahou se ve zdivu vodorovně vyfrézuje drážka asi 6 x 6 cm. Do ní se vrtačkou udělají díry pro umístění elektrod. Elektrody mohou být např. z betonářské oceli, pozinkované nebo měděné. K uzemnění můžeme použít vodovodní přípojku před vodoměrem (podle ČSN 35 7705) nebo zemnicí desku. Do děr pro elektrody se vpraví plastická malta (portlandský cement, hlína⁴, písek 1:1,5:1,5 s 5 % sádry). Podle jiných pramenů se k přípravě malty nemá používat ani cement, ani hlína (pozn. red.). V této maltě se umístí elektrody tak, aby se nedotýkaly zdiva (obr. 5).



Obr. 5.

Nakonec se všechny elektrody propojí. K zemi se při aktivním způsobu připojí záporný pól. Doporučený proud je asi 2 mA/m^2 průřezu zdi. Při pasivním způsobu se vysušování projeví asi po půl roce. U aktivního po čtrnácti dnech. Způsoby se mohou samozřejmě kombinovat (vysušíme aktivně a novému vlhnutí zabráníme pasivní metodou). V současné době se v zahraničí rozšiřuje galvanoosmóza. Jejím principem je vytvoření galvanického článku přímo ve zdivu - na elektrody se použijí různé kovy, které tvoří galvanický článěk.

Po vysušení se ve zdivu vytváří nenasákavá vrstva. Tu lze udělat tak, že se do pórů zdi vnesou dvě chemické látky - elektrolyty, které chemicky reagují tak, že vytvoří nerozpustnou sloučeninu, čímž se zamezí dalšímu vlhnutí. Na zeď se připevní elektrody (kovové desky). Pod ně se vloží plst', která se napojí nejprve jedním elektrolytem (je jím křemičitan draselný nebo sodný neboli vodní sklo). Křemičitanem se napojí jen plst' pod anodou. Pod katodou se plst' zpočátku "zvodiví" roztokem chloridu sodného nebo síranu měďnatého. Po zavedení elektrolytu do zdi stejnosměrným proudem (napětí 1 V na 1 cm tloušťky zdi) se elektrody a zeď očistí a stejným způsobem se zavede stejné množství druhého elektrolytu - chloridu vápenatého. Chemicky vznikne nerozpustný gel křemičitanu vápenatého.

Literatura

- Schlemmer, J. ; Valter, V: Fyzikální chemie. SNTL: Praha 1955.
- Kalous, V.: Základy fyzikálně chemických metod. SNTL: Praha 1963.
- Velíšek, J.: Elektroforéza, elektroosmóza a jiné zjevy inverzní. Přír. vydavatelství: Praha 1952.
- Švancar, A.; Valnoha, J.: Přestavby budov. SNTL: Praha 1968. Čs. patent 112360.
- Kos, J.; Šereda, M.: Praktické metody vysoušení zdiva. III. vydání. Praha: Práce 1970.

Zdroj: Amatérské radio, ročník XX, č 9, 1971, strana 332-334.

Do HTML převedl a poznámkami doplnil [Mašinka](#) v roce 2002.

¹ **elektrody** - v současnosti se používají elektrody vyrobené z elektrovedných plastů, které mají vysokou životnost a nepodléhají elektrochemickým procesům.

² **zdroj** - současné přístroje pracují na impulzním principu, výhodou je malá spotřeba a velká účinnost.

³ **sol** - vysoce disperzní systém pevné látky v kapalině s nízkou koncentrací disperzní fáze. Podle interakcí mezi disperzní fází a disperzním prostředím se sol dělí na lyofilní (přitažlivé interakce) a lyofobní (odpudivé interakce).

⁴ **hlína** - v nasákové maltě lze nahradit materiálem Bentonit, který se prodává v podobě jako sůl na chodníky v prodejnách s chemikáliemi.