

## Teoretyczne przesłanki wpływu stałego prądu elektrycznego na zmianę wilgotności przegród budowlanych

Jednym z podstawowych wymogów jest utrzymanie w pomieszczeniach odpowiedniego mikroklimatu, szczególnie zaś stałej temperatury i wilgotności. Ponieważ niektóre budynki nie posiadają izolacji poziomej, stąd w krajowych warunkach klimatycznych woda gruntowa może powodować znaczne zawilgocenie nie tylko fundamentów lecz również i ścian. Przez to atmosfera pomieszczeń szczególnie dolnych kondygnacji staje się bardzo wilgotna. Poza szkodliwym działaniem tej postaci wody na fundamenty i ściany powodujące ich korozję, równocześnie stwarza ona dogodne warunki dla zagrzybienia budynku.

Wszelkie metody, częściowo zapobiegające tym szkodliwym skutkom, są nie do przyjęcia i konieczne jest stosowanie takich, które by całkowicie likwidowały zawilgocenia ścian, a przez to wpływały na zmniejszenie wilgotności powietrza.

Dotychczas w Polsce rozwiązuje się te problemy metodami klasycznymi. Zakłada się więc izolacje poziome i pionowe, instalacje drenazowe itp. Koszt prac związanych z ich realizacją jest bardzo wysoki, szczególnie w budynkach zabytkowych, których fundamenty osiągają znaczne grubości (dochodzą do 2 m a czasami i więcej). Poszukiwanie innych tańszych metod od dotychczas stosowanych ma w polskich warunkach duże gospodarze znaczenie.

Dotychczasowe eksperymentalne prace rokuja skuteczność stosowania w takich przypadkach elektroosmotycznych metod blokady przeciwzawilgoceniowej i osuszania ścian. Celem niniejszego artykułu jest wyjaśnienie zasady działania elektroosmotycznych metod osuszania budynków.

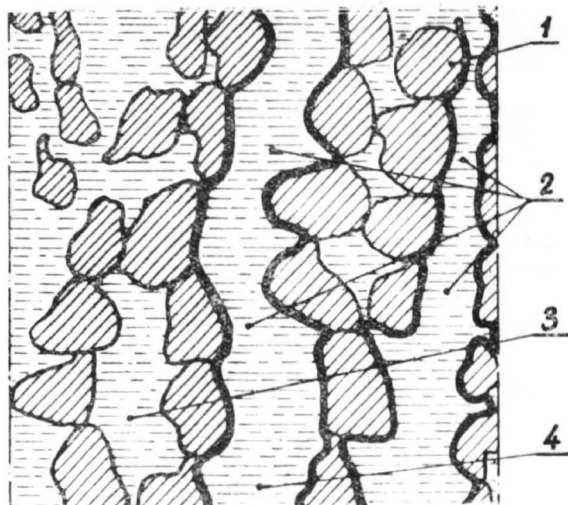
### Mechanizm zawilgocenia ścian

Grunt z punktu widzenia omawianych metod można traktować jako ośrodek trzyfazowy składający się z fazy stałej — szkieletu gruntowego, ciekłej wody gruntowej i gazowej — powietrza.

W miarę gdy wody gruntowe wypełniają całkowicie wolne przestrzenie między fazą stałą, wówczas staje się on dwufazowy.

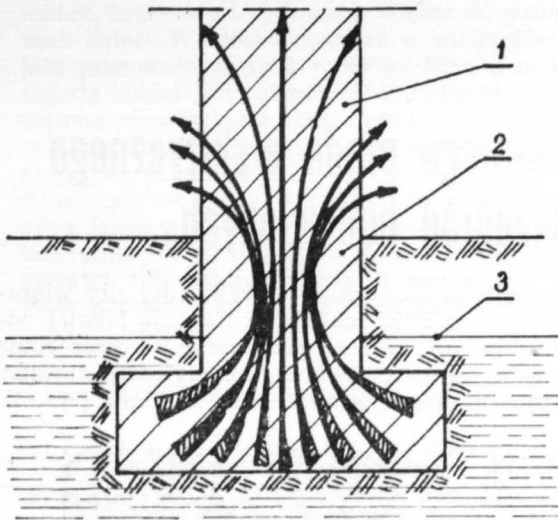
Ze względu na występujące siły, na powierzchni cząstki gruntu może istnieć woda związana z fazą stałą t. zw. woda hygroskopijna i woda otaczająca poszczególne cząstki związana z nimi bardzo dużymi siłami dochodzącymi do 2000 kG/cm<sup>2</sup>, występującymi dzięki istnieniu silnych pól elektrycznych. Przy większej wilgotności tworzy się t. zw. woda błonkowa otaczająca

wodę hygroskopijną otoczkami. Jej siły wiązania są już dużo mniejsze i daje się łatwiej oddzielać np. przez podgrzanie. Poszczególne cząstki gruntu tworzą układy strukturalne, które można traktować jako kapilary (rys. 1),

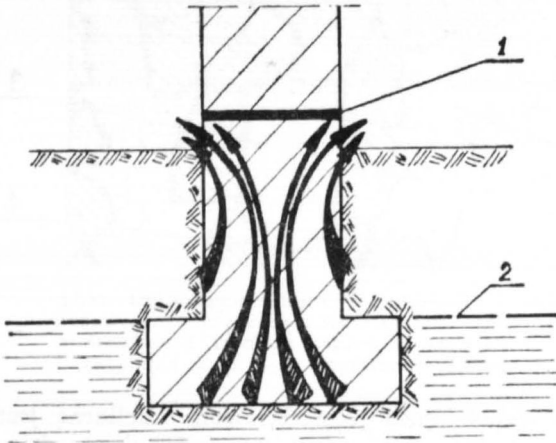


Rys. 1. Kapilara w gruncie wypełniona wodą. 1 — faza stała (cząstka szkieletu gruntowego), 2 — kapilara w gruncie otwarta, 3 — kapilara w gruncie zamknięta, 4 — woda kapilarna.

a wypełniająca je woda zwana kapilarną jest podnoszona na znaczne wysokości dzięki działaniu sił kapilarnych. Większe przestrzenie powietrzne między poszczególnymi cząstkami lub ich zespołami, w którym już nie działają siły kapilarne, wypełnione są przez wodę grawitacyjną. Te dwa ostatnie rodzaje wody — kapilarna i grawitacyjna — ze względu na niewielkie ich siły wiązania z fazą stałą gruntu łatwo przechodzą do ośrodków mniej wilgotnych np. stykających się z nią murów. Przeważająca bowiem ilość elementów ściennych posiada budowę porowatą tworząc kanaliki, z których większość jest kapilarami. Powstaje t. zw. podciśnienie kapilarne i zaczyna przedostawać się z gruntu np. do stopy fundamentowej woda grawitacyjna i kapilarna. Dzięki istniejącej wówczas różnicy ciśnień osmotycznych jest ona podciągana kapilarami do górnych części stopy (rys. 2). Taki proces powoduje nawet zawilgocenie ścian kondygnacji parterowych. Może być on przerwany przez zamknięcie kapilar stosując nieporowate materiały np. lepek, papę itp. Warstwa lepiku zamyka kapilary i zatrzymuje osmotyczne podciąganie wody (rys. 3).



Rys. 2. Sposoby rozmieszczania się wody w fundamencie. 1 — powierzchnia odparowania wody, 2 — przegroda budowlana, 3 — poziom wody gruntowej.



Rys. 3. Sposób przemieszczania się wody w przypadku istnienia izolacji poziomej. 1 — izolacja pozioma warstwa lepiku, 2 — poziom wody gruntowej.

W efekcie takich zabiegów wilgotność budowlanych przegród w częściach będących powyżej takiej zapory maleje do wartości przepisowych i pomieszczenia budynku stają się suche.

Istnieje również możliwość osuszania pomieszczeń przez ich ogrzewanie i intensywne wentrowanie. Ten sposób nie daje pożądanych efektów, gdyż w miejsce odparowanej pojawia się nowa woda, podciągnięta z dolnych partii muru na drodze osmotycznego działania. Intensywność zawilgocenia zależy w takich warunkach przede wszystkim od struktury i rodzaju materiału przegrody budowlanej, jej grubości oraz wilgotności gruntu. Zawilgocenie osiąga swoje maksimum w środku przekroju przegrody malejąc w kierunku obu zewnętrznych płaszczyzn wskutek odparowywania. Na nierównomierność rozkładu ma największy wpływ temperatura otoczenia po obu stronach przegrody.

Innym sposobem bardziej skutecznym, są elektroosmotyczne metody, których mechanizm działania omówiony będzie w dalszej części niniejszego artykułu.

#### Mechanizm powstawania elektrycznej warstwy podwójnej. Podstawowe zjawiska przy osuszaniu budynku

Jak już wyżej wspomniano większość elementów budowlanych posiada strukturę porowatą z wieloma kanalikami, których niewielkie średnice pozwalają zaliczyć je do kapilar. Podciągana na drodze osmotycznego działania woda powoduje szereg zjawisk, które dają efekt tzw. elektrokapilarności.

Zetknięcie się w takim układzie dwu faz t. j. materiału ściany z wodą powoduje na ogół zmianę w rozkładzie ładunków elektrycznych w przylegających do siebie warstwach, znajdujących się po obu stronach granicy rozdziału. Wskutek tego pomiędzy fazami t. j. ścianką kapilary cegły, czy też zaprawy budowlanej powstaje różnica potencjałów zwana potencjałem międzyfazowym. W wyniku bezpośredniego kontaktu obu faz powstaje więc elektryczna warstwa podwójna.

Tak wytworzona elektryczna warstwa podwójna posiada po obu stronach granicy rozdziału wypadkowe ładunki elektryczne, z jednej strony o znaku dodatnim a z drugiej ujemnym.

Zasięg potencjału międzyfazowego kończy się tam, gdzie potencjał międzyfazowy osiąga wartość zero, t. j. gdzie potencjały chemiczne cząstek znajdujących się w strefie elektrycznej warstwy podwójnej, stają się równe ich potencjałom chemicznym wewnątrz fazy.

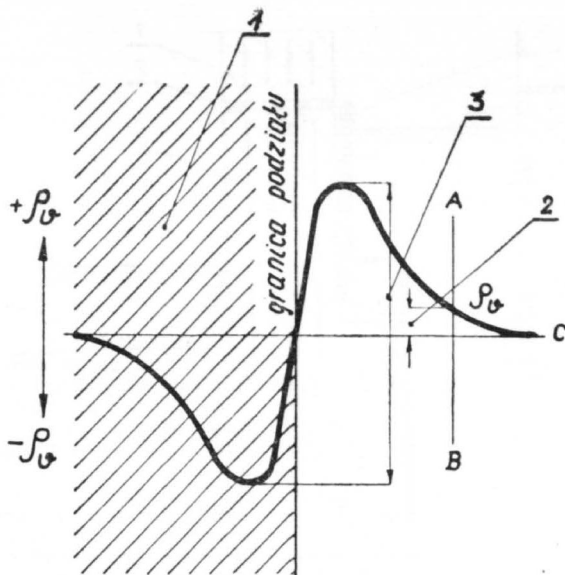
Gouy i Champen podali krzywą rozkładu ładunków z uwzględnieniem udziału jonów jako istotnych ich nośników. Rozpatrując podział na granicy faz jako rezultat współdziałania sił elektrostatycznych z jednej strony i sił ruchu molekularno-cząsteczkowego z drugiej strony, można dojść do wniosku, że na granicy kapilary i wody ubytek jonów maleje wraz z odległością od niej wg funkcji hyperbolicznej (rys. 4).

Smoluchowski i Freundlich wprowadzali pojęcie potencjału elektrokinetycznego, który jest częścią potencjału międzyfazowego. W zjawiskach elektrokinetycznych bierze udział tylko nieliczna część ładunku, natomiast część ładunku zawarta między granicą podziału faza stała — woda i prostą AB (rys. 4) nie bierze czynnego udziału, gdyż w tym przedziale wielkość sił wzajemnego oddziaływania ładunków w wodzie i ściance kapilary nie pozwala na ich przesunięcie pod wpływem pola elektrycznego.

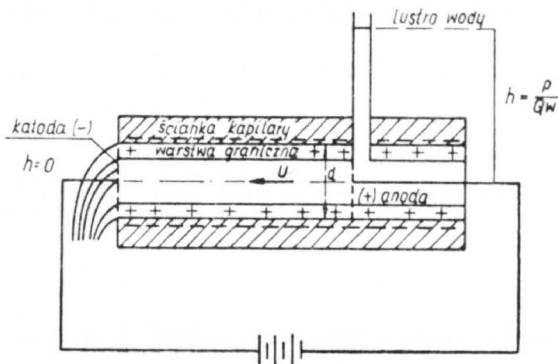
#### Elektrokinetyczne zjawiska przy elektroosmotycznym osuszaniu budynków

W oparciu o wyżej podane wyjaśnienia związane z mechanizmem powstawania podwójnej warstwy elektrycznej, należy wyjaśnić istotę ruchu wody pod wpływem przyłożonego z zewnątrz stałego pola elektrycznego.

Przepływ wody powstaje na skutek istnienia nadmiaru jonów jednego znaku w zewnętrznej



Rys. 4. Krzywa rozkładu ładunków na granicy podziału faz: woda — faza stała. 1 — faza stała, 2 — potencjał elektrokinetyczny, 3 — potencjał międzyfazowy.



Rys. 5. Ruch elektroosmotyczny wody.

części warstwy dyfuzyjnej. Przyłożenie pola elektrycznego do kapilary wypełnionej wodą (rys. 5), powoduje przyciąganie jonów do bieguna o znaku przeciwnym. Im większy potencjał elektrokinetyczny, tym większa jest liczba nadmiaru jonów i tym intensywniejszy ruch wody. Z powyższego wynika wprost proporcjonalna zależność między objętością przeniesionej wody, a potencjałem elektrokinetycznym. W przypadku, gdy potencjał elektrokinetyczny równa się zero, nie występuje elektrokapilarny ruch wody.

Ze względu na specyfikę ruchu elektroosmotycznego, na jego intensywność mają wpływ takie współczynniki jak np. wysokość, na którą można podciągnąć wodę, a która jest proporcjonalna do przyłożonej różnicy potencjałów, zaś dla zbioru kapilar o różnych promieniach, jest

odwrotnie proporcjonalna do kwadratu promienia.

Zależność ta nie jest jednak całkowicie słuszna, ponieważ lepkość cieczy w kapilarach odbiega od lepkości cieczy swobodnej, a współczynnik filtracji zaczyna maleć. Stała dielektryczna  $E$ , którą dla wody i jej roztworów przyjmuje się 81, na granicy podziału faz w elektrycznej warstwie podwójnej maleje nawet do 1. Z powyższego widać, że rozwiązywanie zagadnień technicznych metod osuszania budynków w każdym przypadku wymaga kontynuowania badań teoretycznych, pozwalających na uzyskiwanie optymalnych rozwiązań.

#### Zagadnienie techniczne instalacji elektroosmotycznego osuszania budynków

Analizując omówione wyżej procesy w układach występujących w części fundamentowej budynku, należy w pierwszym rzędzie zauważyć, że rozkład wilgotności nie jest stały nie tylko w całym przekroju przegrody na przyjętej powierzchni przekroju, lecz również w funkcji wysokości licząc od jej dolnej powierzchni. Ten fakt ma podstawowy wpływ na elektrokapilarną własności przegród budynku. Przy dużym zawilgoceniu gruntu powyżej wilgotności kapilarnej dolne partie fundamentów będą posiadały wilgotność równą ich maksymalnej kapilarnej. W wyniku działania napięcia powierzchniowego i związanego z nim ciśnienia kapilarnego (osmotycznego) wysokość wzniesienia wody można określić ze wzoru:

$$h = \frac{4 \rho_1}{d \epsilon \epsilon_0 g}$$

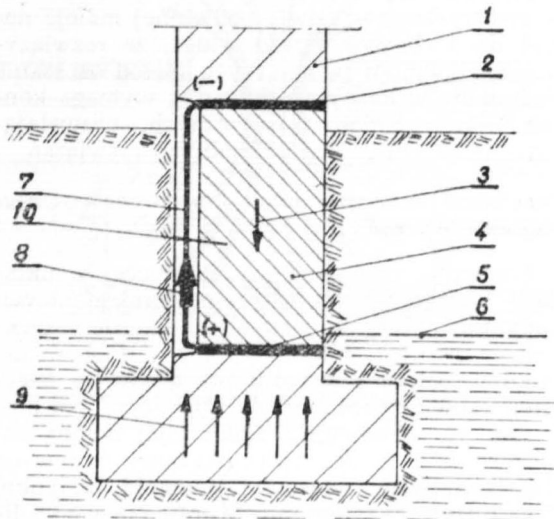
gdzie:

- $E_c$  — napięcie powierzchniowe cieczy
- $d$  — średnica kapilary
- $\rho_1$  — gęstość cieczy
- $g$  — przyspieszenie ziemskie

Przy stykaniu się wody ze ścianką kapilary powstaje elektryczna warstwa podwójna, którego mechanizm powstawania omówiono wyżej. Od stopnia zawilgocenia ośrodka zależy wartość potencjału i jest on tym większy, im wilgotność jest bliższa jej maksymalnej wartości kapilarnej. Ponieważ wilgotność przegród budowlanych nie jest stała i maleje w funkcji odległości licząc od powierzchni wody gruntowej, to układ taki prowadzi do wystąpienia różnych potencjałów na różnych wysokościach, malejąc do zera dla górnych partii.

Ta różnica potencjałów spowodowana jest różną koncentracją ładunków dodatnich. W dolnych częściach jest ona większa, na skutek większego w tym miejscu potencjału elektrokinetycznego. Dwie skrajne powierzchnie jedna wybrana na poziomie wody gruntowej, druga będąca granicą zawilgocenia budynku stanowią specyficzne źródło prądu o sile elektroosmotycznej równej różnicy potencjałów elektrokinetycznych. Połączenie oby tych powierzchni spowoduje przepływ prądu od bieguna dodatniego

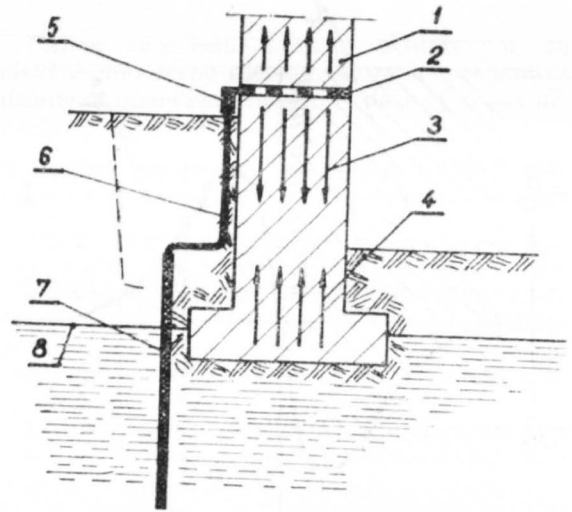
do ujemnego, a wewnątrz tego ogniwa od ujemnego do dodatniego i prąd ten na drodze elektroosmotycznej znacznie zahamuje kapilarne podnoszenie wody. Na tej zasadzie działania jest oparta t. zw. jednometaliczna bierna metoda blokady przeciwwilgociowej (rys. 6).



Rys. 6. Jednometaliczna bierna metoda blokady przeciwwilgociowej. 1 — obszar wysychania muru, 2 — elektrody górne, ujemne, 3 — kierunek prądu w obwodzie elektrycznym wewnętrznym, 4 — specyficzne źródło prądu, 5 — elektrody dolne, dodatnie, 6 — poziom wody gruntowej, 7 — przewód izolowany zwierający elektrody, 8 — kierunek prądu w obwodzie zewnętrznym, 9 — kierunek działania ciśnienia osmotycznego wody, 10 — międzyelektrodowa strefa blokady.

Jednak wielkość siły elektroosmotycznej tego specyficznego źródła prądu jest funkcją wilgotności. W miarę jej ubytku siła ta szybko maleje. Metoda działać więc może niezbyt skutecznie nie dając pożądanego zmniejszenia wilgotności, gdyż siły ciśnienia osmotycznego, jako przeciwnie od kierunku działania natężenia przepływowego pola elektrycznego, będą od tych ostatnich większe. Aby uzyskać lepszy efekt, należy dążyć do powiększenia siły elektroosmotycznej tego specyficznego źródła prądu. Uzyskuje się to przez zwiększenie różnicy potencjałów przesuwając jedną z elektrod do powierzchni o potencjale równym zero. W tym celu wykonuje się specjalny uziom (rys. 7) wbity poniżej poziomu wody gruntowej. Taki układ zwany jest jednometaliczną redukcijną metodą blokady przeciwwilgociowej.

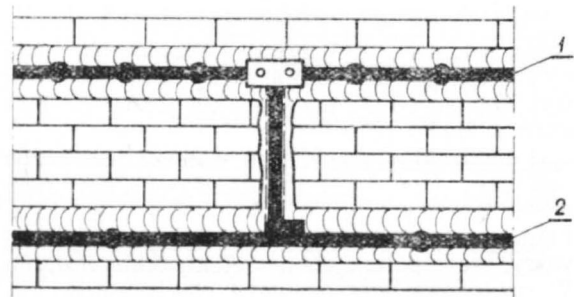
Obie te metody prowadzą do tego, że w międzyelektrodowym obszarze występuje pewnego rodzaju równowaga pomiędzy ilością dopływającą i odpływającą wody. Przez to średnia wilgotności w tym obszarze jest stała. W ten sposób tworzy się zapora, która nie dopuszcza do przedostawania się wody w górne partie przegrody budowlanej. Po pierwszym okresie swobodnego wysychania muru, nie podlega on ponownemu zawilgoceniu.



Rys. 7. Blokada bierna redukcyjna. 1 — obszar wysychania muru, 2 — płaszczyna blokująca, 3 — wsteczny ruch wód kapilarnych, 4 — swobodny ruch wód kapilarnych, 5 — punkt kontrolno-pomiarowy, 6 — izolowany przewód łączący, 7 — uziom, 8 — woda gruntowa.

Z powyższych rozważań wynika, że elektrody tak należy sytuować, aby wykluczyć możliwe drogi dostawania się wody. Należy więc górne elektrody instalować powyżej poziomu gruntu.

Tego typu układy nie są skuteczne w pierwszym okresie osuszania budynków. Bardziej skutecznym w tym zakresie działania jest t. zw. dwumetaliczna metoda redukcyjna. Jej istota działania opiera się na występującej różnicy elektrochemicznych potencjałów przy stosowaniu elektrod z dwu różnych metali. Układ taki staje się elektrochemicznym ogniwem. Ponieważ każde dwa różne metale dają w tych warunkach różne różnice potencjałów, należy dążyć do takich zestawów, przy których siła elektroosmotyczna osiąga duże wartości. W dotychczasowych rozwiązaniach stosuje się stal i aluminium (rys. 8). Dzięki powiększeniu siły elektroosmotycznej zwiększa się natężenie prądu



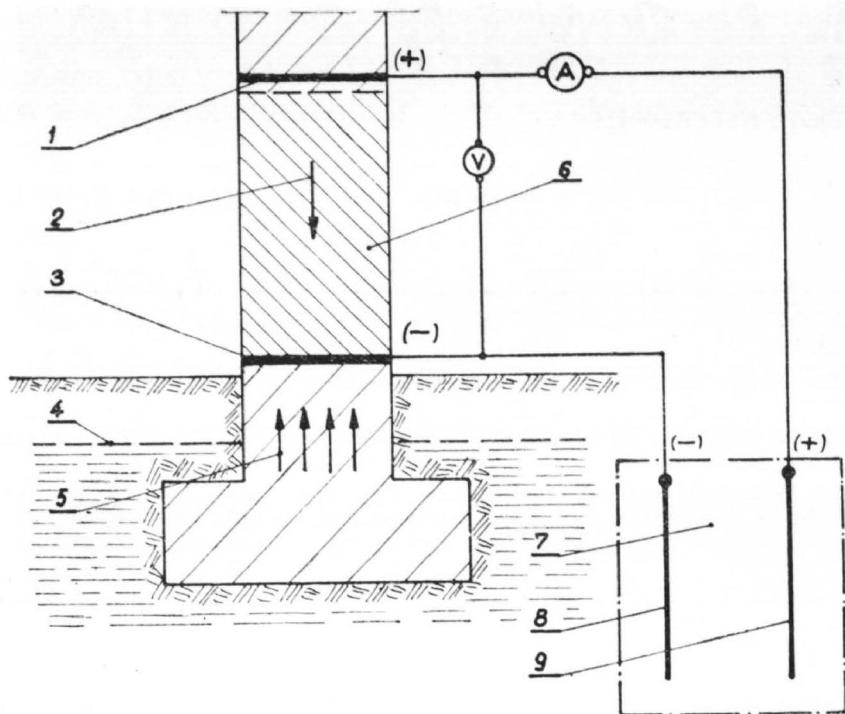
Rys. 8 Dwumetaliczna metoda redukcyjna. 1 — stal; 2 — aluminium.

elektrycznego, a przez to i efektywności elektroosmotycznego oddziaływania na wodę rośnię.

Przy zastosowaniu stali na elektrody górne a na dolne aluminium siła elektroosmotyczna może osiągnąć wartość 1,2 V i przez to okres



Rys. 9. Jednometaliczna metoda redukcyjna z ogniwem naturalnym elektrochemicznym. 1 — elektrody górne, 2 — kierunek prądu i ruchu wody, 3 — elektrody dolne, 4 — poziom wody gruntowej, 5 — kierunek ciśnienia osmotycznego, 6 — obszar elektroosmotycznego suszenia muru, 7 — ogniwo naturalne elektrochemiczne, 8 — płyta cynkowa, 9 — płyta miedziana.



suszenia znacznie maleje. Całość instalacji winna być tak wykonana, aby zapewniała dużą pewność działania oraz jej trwałość.

W odmiennej metodzie redukcyjnej wykorzystuje się zamiast układu elektrod tworzących własne źródło prądu obce źródło prądu (rys. 9). Może to być specjalnie wykonane ogniwo elektrochemiczne przy wykorzystaniu wody gruntowej jako elektrolitu np. przez zakopanie dwu elektrod jednej miedzianej, drugiej cynkowej poniżej poziomu wody gruntowej. Można również w tym celu stosować w zelektryfikowanych budynkach odpowiednie przetwornice prądu sinusoidalnie zmiennego na jednokierunkowy i zasilac instalację przeciwwilgociową. Z tego przeglądu metod widać, że różnią się one bardzo i dlatego wybór metody, czy też kilku

ze sobą współpracujących, zależy od lokalnych warunków i wymaga indywidualnych rozwiązań.

#### Wnioski

- 1) Jak wynika z wyżej opracowanej teorii metod elektroosmotycznego osuszania budynków, zagadnienie to jest bardzo skomplikowane, zarówno z punktu widzenia teoretycznego jak i rozwiązań techniczno-robotycznych.
- 2) Ze względu na dużą liczbę parametrów, od których zależy efektywność tych metod, należy każdy przypadek rozwiązywać indywidualnie, przeprowadzając uprzednio konieczne badania wstępne, pozwalające na ich określenie.

#### SPIS LITERATURY

1. Mikucki Z. Praca zbiorowa — Gruntoznawstwo techniczne.
2. Wasiluk W. — Wpływ przepływu prądu elektrycznego przez glebę na przebieg siły potrzebnej do uciążu pługów. Politechnika Warszawska 1965 Polska.
3. Piaskowski A. — Badania nad elektroosmotycznym przepływem wody w gruntach — ITB Warszawa 1954 Polska.
4. Bolsikowa I. S., Rieltow B. I. — O współczynniku elektroosmotycznej filtracji I. W. N. I. H. T56 Leningrad 1956 ZSRR.
5. Ollendorf — Toki w ziemi, Moskwa 1932 ZSRR.
6. Wołkowiński K. — Zależność oporności właściwej

- gruntów od wilgotności i temperatury. Przegląd Elektrotechniczny zeszyt 3 Warszawa 1961 Polska.
7. Garbade E., Primek — Elektroosmose nach der Engelsdorfer Methode, Bauzeitung 1965 nr 3 s. 143—146.
8. Jaczewski K., Rossiński B. — Wykorzystanie zjawisk elektroosmozy do utworzenia przegrody przeciwwilgociowej w murach ceglanych. Archiw. inż. budow. 1961 t. 7 str. 219—234 — nr 2.
9. Matwiejew B. W. — Suszko stien metodom elektroosmoza, Kijew 1963 Gosud. Izd. Lit. postroit i Arch. USRR, A5 375.
10. Casagrande — Elektroosmoza w gruntach „Geotechnique” czerwiec 1949.