

OCENA DOBORU SIECI NEURONOWEJ DO OKREŚLANIA WYSTĘPOWANIA I WYZNACZANIA ZAKRESU QUASIPLATEAU W WOLTAMPEROMETRYCZNYCH POMIARACH NATLENIEŃ GLEBY

Grzegorz Bartnik, Andrzej W. Marciniak

Katedra Podstaw Techniki, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Andrzej Bieganski

Instytut Agrofizyki, Polska Akademia Nauk w Lublinie

Streszczenie. Wartość natlenienia gleby jest określana m.in. w oparciu o pomiarowo dostępne krzywe woltamperometryczne $I(U)$, a konkretnie o występowanie i zakres plateau na tych krzywych. Celem pracy było zaprojektowanie sieci neuronowej, która w sposób automatyczny identyfikowałaby te krzywe $I(U)$, które są interpretowalne w kategoriach natlenienia gleby, tzn. występuje na nich plateau oraz, w przypadku występowania, określała granice napięć, przy których to plateau występuje. W ten sposób elektrochemiczny układ pomiarowy zostanie wzbogacony o „inteligentny” moduł umożliwiający dalsze, obiektywne obliczenia.

Słowa kluczowe: sieci neuronowe, OFD, pomiar natlenienia gleby, gęstość strumienia tlenu

Wstęp

Dostępność tlenu do korzeni roślin to obok dostępności wody oraz substancji odżywczych jeden z głównych warunków decydujących o wzroście i rozwoju rośliny. Niedotlenienie może powodować zahamowanie, a w ekstremalnych sytuacjach obumieranie korzeni. Stąd też jednym z celów zabiegów agrotechnicznych prowadzonych w trakcie procesu uprawy roślin jest zwiększenie wymiany gazowej tj. ułatwienie odprowadzenia z gleby dwutlenku węgla oraz doprowadzenie do gleby natlenionego powietrza.

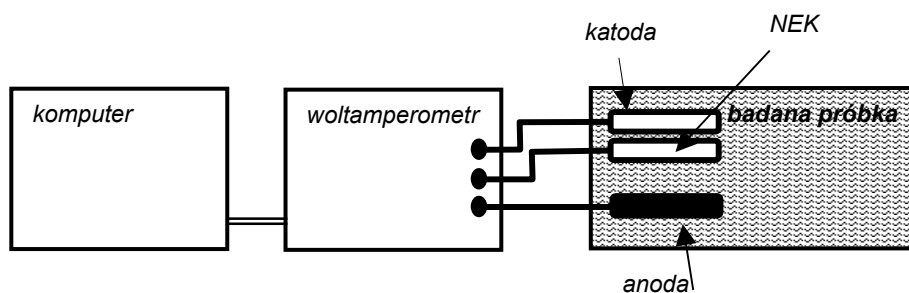
Warto jednak zauważyć, że nie samo stężenie tlenu w powietrzu glebowym jest dla rośliny najistotniejsze, ponieważ korzeń nie ma możliwości pobrania tlenu bezpośrednio z powietrza. Możliwość pobrania tlenu następuje jedynie przez warstwę wody (roztworu) otaczającego korzeń. Konsekwencją tego jest fakt, że wielkością opisującą dostępność tlenu do korzeni roślin jest gęstość strumienia tlenu wyrażona ilością masy tlenu przetransportowanego przez jednostkę powierzchni w danym czasie [$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$].

Ze względu na sposób pomiaru gęstości strumienia tlenu w literaturze rozróżnia się dwie wielkości: ODR – Oxygen Diffusion Rate [Lemon i Erickson 1952 i 1955] wyznaczaną metodą amperometryczną oraz OFD – Oxygen Flux Density [Malicki i Bieganski 1999] wyznaczaną metodą woltamperometryczną. Trudno uznać którąkolwiek z tych metod za metodę odniesienia, ale okazało się, że metoda woltamperometryczna pozwala na uzyskiwanie wyników bardziej powtarzalnych i odtwarzalnych [Bieganski 2005].

Ponieważ metoda woltamperometryczna opiera się na interpretacji krzywej woltamperometrycznej, pojawił się problem interpretacji tej krzywej polegający na ocenie czy i jeśli tak, to w jakich granicach występuje na niej obszar quasiplateau, w którym można interpretować wartość prądu w kategoriach potencjalnej gęstości strumienia tlenu w glebie

Wyznaczanie OFD

Wielkość OFD rozumianą jako gęstość strumienia tlenu, który może wystąpić przy największym dla danych warunków gradiencie stężenia tlenu wyznacza się dla dyfuzji do powierzchni nieskończenie szybkiego anihilatora. Stężenie tlenu na powierzchni tego anihilatora jest równe zero. W zastosowanej, woltamperometrycznej metodzie wyznaczania OFD, pomiar prądu redukcji tlenu odbywa się na umieszczonej w glebie katodzie platynowej przy narastającym liniowo potencjale katody. Obwód zamyka anoda w postaci srebrnego drutu. Potencjał katody ustalany jest w bezprądowym obwodzie względem elektrody odniesienia (NEK) (rys. 1.)

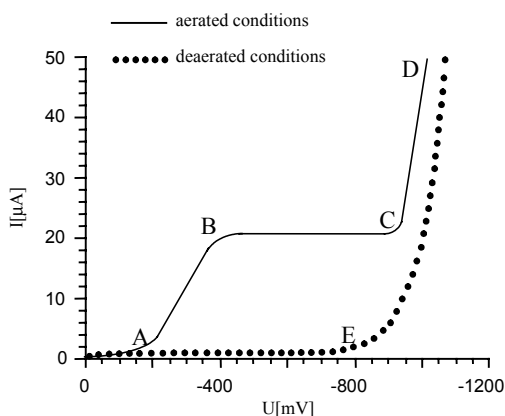


Rys. 1. Zestaw pomiarowy do wyznaczania OFD
 Fig. 1. OFD measurement set

Wyniki przeprowadzanych pomiarów przedstawione na wykresach w formie krzywych zależności pomiędzy zadawanym napięciem a zarejestrowanym natężeniem, nazywane są krzywymi woltamperometrycznymi, $I(U)$.

Rysunek 2 przedstawia dwie wyidealizowane krzywe woltamperometryczne wyznaczone przy skrajnie różnym natlenieniu roztworu. Dla roztworu natlenionego w przedziale od 0 do punktu A, zarejestrowany prąd przyjmuje wartości praktycznie pomijalne. Jest to tak zwany prąd szczytkowy występujący w wyniku śladowej redukcji składników roztworu. W punkcie A polaryzacja katody powoduje przekroczenie progowego napięcia redukcji tlenu. Przy tej wartości napięcia na powierzchni platyny rozpoczyna się redukcja tlenu cząsteczkowego i prąd wzrasta do wartości w punkcie B. Poczynając od napięcia odnotowanego w punkcie B wartość prądu przestaje rosnąć wskutek określonej dyfuzyjności ośrodka, tzn. że zjawisko dyfuzji ogranicza ilość cząsteczek tlenu, które mogą dodyfundować do powierzchni elektrody. Pomiędzy punktami B i C obserwuje się obszar plateau. W punkcie C następuje dość gwałtowny wzrost prądu dzięki narastającej wraz z napięciem liczbą zredukowanych jonów wodorowych. Krzywa na odcinku AC nazywana jest falą tlenową. W przypadku roztworu odtlenionego fala tlenowa nie występuje

a w przedziale potencjału 0E prąd praktycznie nie płynie. Punkt E jest to wartość napięcia, przy której następuje przekroczenie napięcia redukcji kationów wodorowych przy elektrolizie wody.



Rys. 2. Wyidealizowane krzywe woltamperometryczne uzyskane w nasyconej roztworem glebowym glebie w warunkach aerobowych i anaerobowych

Fig. 2. Theoretical voltampere curves of saturated soil solution in aerated and deaerated conditions aerobes

Krzywe, o kształtach podobnych do prezentowanych na rysunku 2, gdzie można wyraźnie określić występowanie i obszar plateau występują tylko w przypadku:

- roztworów,
- zawiesin glebowych,
- przesączy,
- gleb nasyconych,
- gleb bliskich nasycenia.

W rzeczywistości praktyka laboratoryjna wykazuje, że w przypadkach, gdzie nie występuje stan nasycenia gleby roztworem wodnym, rzeczywiste plateau nie występuje. Spowodowane jest to zjawiskiem, w którym dyfuzja tlenu przez cienkie filmy wodne nie wpływa zasadniczo na wielkość prądu. W glebach o większej wilgotności można zauważyć występowanie fali tlenowej, ale trudno tu mówić o matematycznym plateau (pochodna funkcji równa 0). Stąd też obszar ten nazywany jest zwykle quasiplateau.

Występowanie obszaru quasiplateau (a więc limitowanie wartości prądu przez zjawisko dyfuzji) warunkuje możliwość interpretacji krzywej woltamperometrycznej w kategoriach pomiaru potencjalnego strumienia tlenu w glebie.

W pomiarach laboratoryjnych a szczególnie polowych podczas analizy otrzymanych w pomiarach krzywych woltamperometrycznych bardzo często trudno jest ocenić jednoznacznie, czy quasiplateau wystąpiło czy nie wystąpiło. W takim przypadku nawet duże doświadczenie osoby wykonującej pomiary i oceniającej krzywe nie daje gwarancji prawidłowej oceny. Podobnie jest z określeniem wartości parametrów prądu, dla której wystą-

piło quasiplateau, czyli podanie wartości napięcia początku i końca quasiplateau. Prowadzi to do czasami drastycznego zwiększenia niepewności pomiaru, ponieważ ta sama krzywa woltamperometryczna może być zupełnie różnie zinterpretowana przez różne osoby. Zdarza się również, że ta sama osoba po pewnym czasie inaczej interpretuje daną krzywą woltamperometryczną. Zbiektywizowana odpowiedź na pytania:

- czy na danej krzywej woltamperometrycznej występuje obszar quasiplateau?
 - jeśli tak, to jakie są wartości napięcia początku i końca tego obszaru?
- pozwoliłaby na prowadzenie bardziej wiarygodnych pomiarów i zmniejszenie niepewności.

Celem pracy jest ocena możliwości wykorzystania sieci neuronowych jako algorytmów, uczonych na przykładach i produkujących odpowiedzi na wyżej postawione pytania.

Umożliwiłoby to skonstruowanie „inteligentnego przyrządu pomiarowego” mierzącego dostępność tlenu do korzeni roślin.

Sieci neuronowe interpretujące krzywe woltamperometryczne

Jako danych uczących użyto empirycznych krzywych woltamperometrycznych zarejestrowanych w glebach mineralnych¹ [Bieganowski 2005]. Do projektowania sieci użyto programu NeuroShell. Zaprojektowano sieć obliczającą odpowiedź na pytanie czy dana krzywa woltamperometryczna posiada plateau oraz odrębną sieć umożliwiającą wyznaczenie początku i końca plateau, o ile ono występuje.

Rozpoznawanie występowania plateau

Do rozpoznawania występowania plateau zastosowano sieć neuronową PNN (Probabilistic Neural Network). Sieć taka ma trzy warstwy (rys. 3). Na warstwę wejściową podawany był rozpoznawany obraz – krzywa woltamperometryczna. Liczba neuronów w warstwie ukrytej jest równa liczbie punktów rozpoznawanej krzywej. W warstwie wyjściowej jest tyle neuronów, na ile kategorii klasyfikowane są obrazy pokazywane na wejściu sieci – w tym przypadku są to dwie kategorie: jest plateau, brak plateau. W sieciach PNN funkcja aktywacji neuronów jest gausowska.

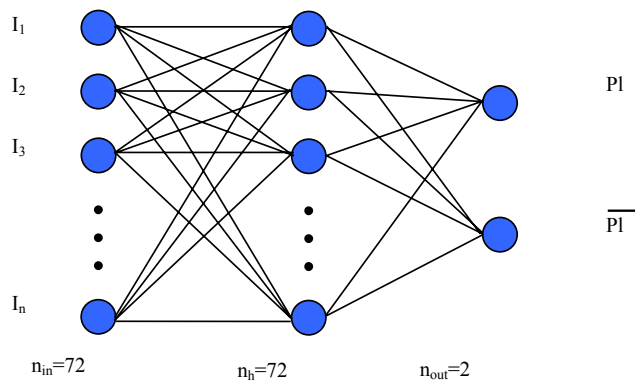
Wyniki rozpoznawania plateau pokazano na rysunku 4 i 5. Jak widać dokładność rozpoznawania jest tu zadowalająca. Na pobrane do rozpoznania 72 krzywe zbioru testowego rozpoznanie było prawidłowe w 69 przypadkach (rys. 4). W jednym tylko przypadku brak plateau został rozpoznany jako istniejący, a w dwóch przypadkach istnienie plateau nie zostało wykryte.

Wyznaczenie wartości początku i końca plateau

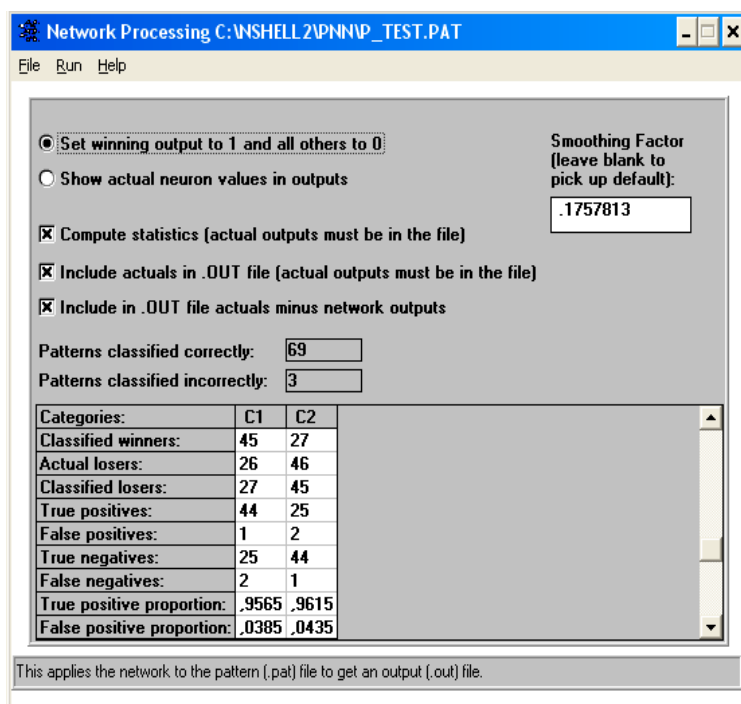
Problem wyznaczania wartości początku i końca plateau został również sprowadzony do problemu klasyfikacji. W typowej krzywej $I(U)$ posiadającej plateau można wyróżnić trzy fragmenty A, B i C, (rys. 5).

¹ Materiał glebowy gleb mineralnych dobrano tak, aby był reprezentatywny dla Lubelszczyzny. Wykorzystano do tego celu opisy profili glebowych gleb mineralnych zawarty w Banku Próbek Glebowych Reprezentujących Gleby Mineralne Polski [Gliński i in. 1991]. Były to gleby brunatne, czarnoziemy, mada, gleby płowe, rędziny i czarna ziemia.

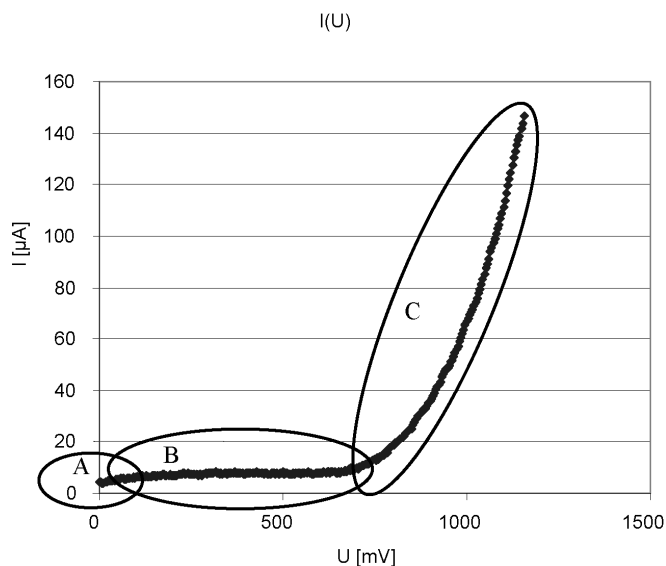
Ocena doboru sieci...



Rys. 3. Sieć rozpoznająca występowanie plateau – typ sieci PNN
 Fig. 3. Artificial Neural Network for plateau existents recognition – network type PNN



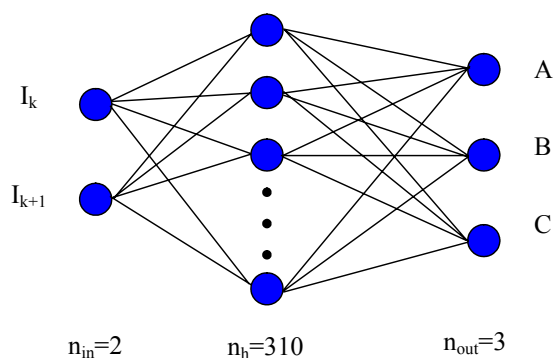
Rys. 4. Wyniki rozpoznawania plateau
 Fig. 4. Results of plateau recognition



Rys. 5. Kategorie klasyfikacji punktów krzywej $I(U)$
 Fig. 5. Classes of curve $I(U)$ points

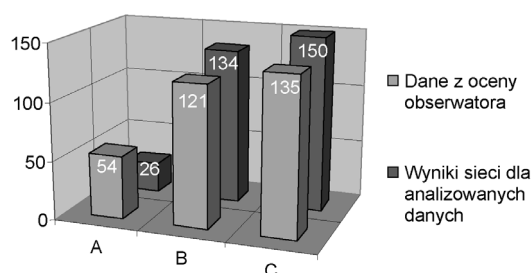
Celem rozpoznawania jest określenie początku i końca plateau (fragment B), przy czym dla każdego pomiaru początek i koniec plateau jest losowy. W tym celu, podobnie jak przy rozpoznawaniu występowania plateau, może być użyta sieć PNN (rys. 6).

Na wejściu tej sieci podawane są wartości I_k, I_{k+1} , gdzie $k=1,2,\dots,n$ – numer pomiaru (kolejnego punktu na krzywej) do $n=310$ (krzywa była reprezentowana przez 310 punktów). Na wyjściu sieci są trzy neurony odpowiadające kategoriom A, B i C. Do uczenia sieci zastosowano algorytm genetyczny a klasyfikację przeprowadzano według strategii WTA (The Winner Takes All).



Rys. 6. Sieć rozpoznająca zakres plateau
 Fig. 6. Network for plateau range recognition

Wyniki klasyfikacji poszczególnych punktów krzywej $I(U)$ są sumowane dla każdej kategorii co pozwala na określenie początku i końca plateau. Informacje o początku i końcu plateau dla poszczególnych przykładów uczących zostały narzucone przez eksperta. Przykładowe wyniki klasyfikacji dla sieci z rysunku 6 pokazano na histogramie (rys. 7). Błędnie do kategorii B sieć zaklasyfikowała 28 punktów według obserwatora należących do kategorii A oraz 15 punktów należących do kategorii B zaklasyfikowała do kategorii C. Oznacza to, że początek plateau był rozpoznany zbyt wcześnie a koniec zbyt późno.



Rys. 7. Histogram wyników klasyfikacji dla przykładowej krzywej $I(U)$

Fig. 7. Classification results histogram for a given $I(U)$ curve

Biorąc pod uwagę niepewność wynikającą z rozpoznawania granic quasiplateau przez różnych i niezależnych od siebie ekspertów, wyniki otrzymane w wyniku zastosowania sieci należy uznać za dostatecznie zadowalające.

Podsumowanie

Pomiar stopnia natlenienia gleby należy do kategorii pomiarów wielkości złożonych. Wartość natlenienia gleby nie jest mierzona wprost, ale określana w oparciu o bezpośrednio pomiarowo dostępne krzywe $I(U)$ a konkretnie o występowanie i zakres plateau na tych krzywych. Celem pracy było zaprojektowanie sieci neuronowej, która w sposób automatyczny przetwarzałaby krzywe $I(U)$ w odpowiadające im wartości natlenienia gleby. Taka sieć wbudowana w potencjostat służący do wyznaczania krzywych $I(U)$ tworzyłaby „inteligentny” układ pomiarowy.

Zastosowana architektura sieci PNN jest uzasadniona tym, że stopień natlenienia gleby jest wielkością zależną od czynników losowych i należy znać nie tylko jej wartość, ale i poziom ufności (prawdopodobieństwa błędnych klasyfikacji). Użycie sieci PNN jako składnika inteligentnych sensorów, umożliwi bardzo szybką ich adaptację do konkretnych warunków pomiarowych. Biorąc pod uwagę wymagany w doświadczeniu poziom dokładności w odniesieniu do oceny początku i końca obszaru quasiplateau otrzymane wyniki można uznać za zadowalające. Niepewność wyniku klasyfikacji występowania lub niewystępowania quasiplateau przy wskazaniu za pomocą sieci neuronowej jest na podobnym poziomie jak niepewność określona subiektywnie przez obserwatora.

Z przeprowadzonych badań wynika, że zastosowane sieci neuronowe mogą stanowić inteligentny moduł w komercyjnych systemach pomiarowych gęstości strumienia tlenu w glebie.

Bibliografia

- Bieganowski A.** 2005. Metrologiczne aspekty wyznaczania potencjalnej gęstości strumienia tlenu w glebie. *Acta Agrophysica* 118, Rozprawy i monografie (1).
- Gliński J., Ostrowski J., Stępniewska Z., Stępniewski W.** 1991. Bank Próbek Glebowych Reprezentujących Gleby Mineralne Polski. *Problemy Agrofizyki* 66.
- Lemon E.R., Erickson A.E.** 1952. The measurement of oxygen diffusion in the soil with platinum microelectrode. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 16. s. 160-163.
- Lemon E.R., Erickson A.E.** 1955. Principle of the platinum microelectrode as a method of characterizing soil aeration. *Soil Sci.* 79. s. 383-392.
- Malicki M.A., Bieganowski A.** 1999. Chronopotammetric determination of oxygen flux density in the soil. *International Agrophysics*. 13. s. 273-281.

ASSESSMENT OF THE SELECTION OF NEURAL NETWORK USED TO SHOW THE OCCURRENCE AND TO DETERMINE QUASIPLATEAU RANGE IN VOLT-AMPERE-METRIC SOIL OXYGENATION MEASUREMENTS

Abstract. Among others, soil oxygenation value is determined on the basis of available measurements of volt-ampere-metric curves $I(U)$, and specifically on the basis of plateau occurrence and range in these curves. The purpose of the work was to design a neural network that would automatically identify these curves $I(U)$, which are interpretable in terms of soil oxygenation, that is they have a plateau. Moreover, the network would determine voltage limits, at which this plateau occurs, provided that it occurs. Thus, the electrochemical measurement system will be provided with an extra "intelligent" module allowing to perform further, objective computations.

Key words: neural networks, OFD, soil oxygenation management, oxygen flux density

Adres do korespondencji:

Grzegorz Bartnik; e-mail: grzegorz.bartnik@up.lublin.pl
Katedra Podstaw Techniki
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. Doświadczalna 50A
20-280 Lublin