

POTENCJAŁ ELEKTRYCZNY BULWY ZIEMNIAKA

Norbert Marks, Tomasz Jakubowski, Piotr Nawara

Instytut Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. Potencjał elektryczny jest jednym z podstawowych parametrem opisującym pole elektryczne. Wyniki badań wskazują, że bulwa ziemniaka wytwarza napięcie w przedziale 0,7-8,2 mV a wartość napięcia elektrycznego wzrasta wraz ze wzrostem masy bulwy. Zależność między wartością napięcia i czasem pomiaru ma charakter nieliniowy. Podkreślić należy, że właściwości elektryczne dowolnej substancji uwarunkowane są przewodnością właściwą (konduktywnością), przenikalnością elektryczną, rezystancją i tangensem kąta stratności.

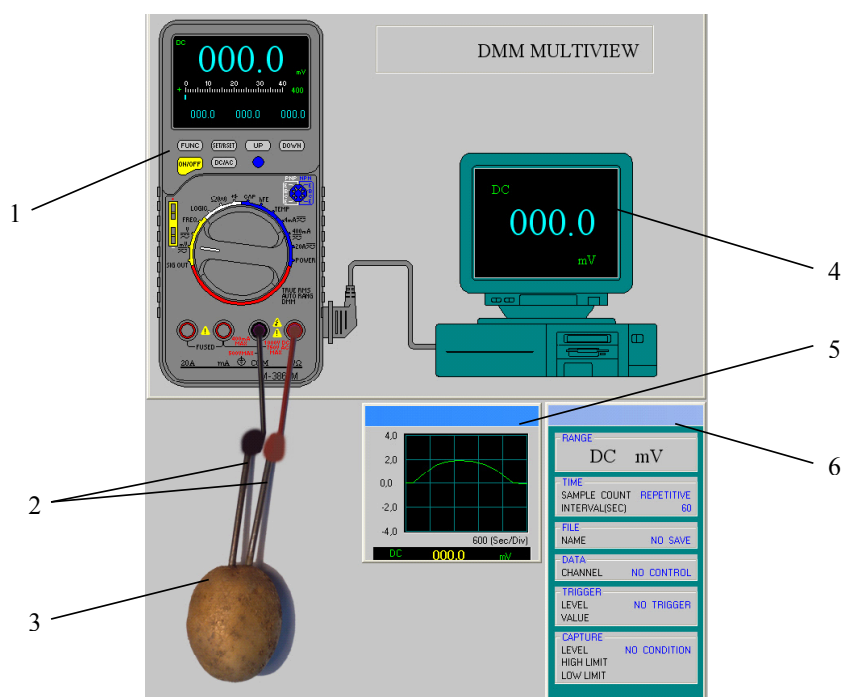
Słowa kluczowe: potencjał elektryczny, ziemniak, rezystancja, napięcie

Wstęp

Potencjał elektryczny jest, obok natężenia pola, podstawowym parametrem opisującym pole elektryczne – jest to stosunek energii potencjalnej pola elektrycznego pracy wykonanej przez siłę elektryczną przy przenoszeniu ładunku do wartości tego ładunku. Poprzez fotografię wysokonapięciową (elektrofotografię) wykonywaną metodami Narkiewicza, Kilnera czy Kirliana można uzyskać obraz pola energetycznego emitowanego przez organizmy żywe. W literaturze fachowej pole elektryczne wytwarzane przez materię ożywioną określa się mianem ulotu elektrycznego. Jest to efekt jonizacji powietrza w otoczeniu elementów o dużej krzywiźnie, gdy natężenie pola elektrycznego przekracza wartość krytyczną. W strefie jonizacji, będącej obszarem luminescencji i fotojonizacji, występują warunki dla powstawania ładunku przestrzennego [Zydroń 2001]. Bulwa ziemniaka jest żywym organizmem o stosunkowo dużej zawartości wody (około 75% masy bulwy). Woda w bulwie ziemniaka jest jednym z podstawowych składników wpływających na jej procesy życiowe oraz głównym rozpuszczalnikiem dla znajdujących się w niej substancji organicznych i mineralnych [Wieczer i in. 1977]. Substancje te rozpuszczone w wodzie mogą spełniać rolę elektrolitu, która dysocjuje (rozpada się na swobodne jony) na skutek czego może przewodzić prąd elektryczny. Z technicznego punktu widzenia elektrolit to medium zdolne do jonowego przewodzenia prądu elektrycznego, czyli zdolne do przekazywania jonowo ładunku między elektrodami [Winiwarter i in. 1992; Cempel 1993; Wiśniewski 2005]. Praca miała na celu określenie potencjału elektrycznego bulwy ziemniaka w zależności od wielkości jego masy.

Zakres pracy i metoda badań

Badania, których celem było określenie wielkości potencjału elektrycznego bulwy ziemniaka prowadzono w roku 2009. W doświadczeniu wykorzystano bulwy bardzo wczesnej odmiany ziemniaka Felka Bona. Określono masę każdej bulwy a następnie w odstolowaną część bulwy ziemniaka wbijano równoległe dwie elektrody (stalową i miedzianą) o długości 100 mm i średnicy 4 mm na głębokość 40 mm przy rozstawie 10 mm. Wykonywano pomiar napięcia (różnicy potencjałów elektrycznych między dwoma punktami obwodu elektrycznego). Jako urządzenie pomiarowe zastosowano multimetr *M3860M* o dokładności pomiaru $\pm 0,5\%$. Pomiaru napięcia dokonywano nie krócej niż przez okres jednej doby przy kroku pomiarowym 60 s. Temperatura w pomieszczeniu gdzie wykonywano pomiar wynosiła 19-21°C. Pomiar przerywano gdy wartość napięcia po okresie jednej doby osiągała 0 mV. Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej na poziomie istotności $\alpha=0,05$. Zastosowano jednowymiarową analizę wariancji, a następnie testy wielokrotnych porównań według procedury Spjotvolla-Stoline'a będącą uogólnieniem procedury T Tukeya dla prób o nierównych liczebnościach [Stanisz 2007].



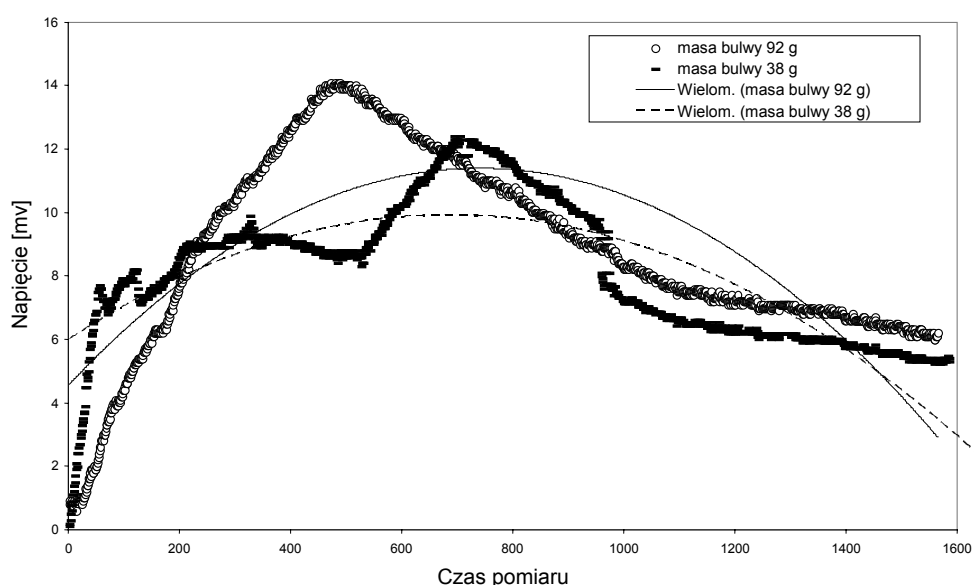
Rys. 1. Schemat stanowiska do badań potencjału elektrycznego bulwy ziemniaka: 1 – multimeter, 2 – elektrody, 3 – bulwa ziemniaka, 4 – rejestrator danych, 5 – graficzny przebieg wyników, 6 – panel danych wejściowych

Fig. 1. Diagram of test stand for potato tuber electric potential: 1 – multimeter, 2 – electrodes, 3 – potato tuber, 4 – data recorder, 5 – graphical curve of results, 6 – input data panel

Wyniki badań i dyskusja

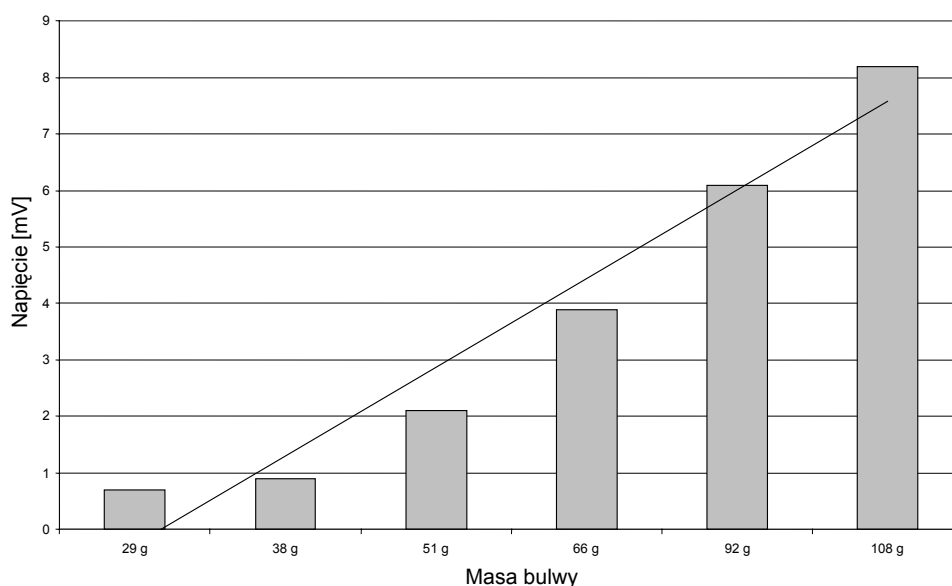
Wyniki badań wskazują, że bulwa ziemniaka w badanym przedziale czasowym generuje napięcie w przedziale 0,7-8,2 mV a zależność między wartością napięcia i czasem pomiaru można opisać równaniem wielomianowym drugiego stopnia (rys. 2 i 3). W tabeli 1, dla poszczególnych zależności, zaprezentowano równania regresji oraz współczynniki determinacji będące miarą jakości dopasowania równania do zmiennych rzeczywistych.

Wykazano również, poprzez jednoczynnikową analizę wariancji (tab. 2), istotne różnice w wartościach napięcia między bulwami ziemniaka o różnej masie. Wynik jednowymiarowego testu istotności był przesłanką do przeprowadzenia testów post-hoc. Procedura porównań wielokrotnych, zmierzająca do podzielenia zbioru średnich na grupy jednorodne, a więc podzbiory średnich, które można uznać za takie same, pozwoliła na wyodrębnienie czterech grup homogenicznych.



Rys. 2. Zależność między wielkością potencjału elektrycznego bulw ziemniaka o różnej masie a czasem wykonania pomiaru

Fig. 2. Relation between the value of electric potential in potato tubers with different mass and measurement duration



Rys. 3. Wartość średniego potencjału elektrycznego bulwy ziemniaka w zależności od masy bulwy
 Fig. 3. Value of mean potato tuber electric potential depending on tuber mass

Tabela 1. Statystyczne zależności pomiędzy wartością napięcia (w zakresie 0,1-14,1 mV) a czasem pomiaru i masą bulwy ziemniaków odmiany Felka Bona

Table 1. Statistical interdependencies between voltage value (within range 0.1-14.1 mV) and measurement duration, and the *Felka Bona* variety potato tuber mass

Rodzaj zależności	Równanie regresji	Wartość współczynnika determinacji R^2
Napięcie - czas pomiaru (bulwa o masie 92 g)	$y = -8E-06x^2 + 0,0114x + 6,0071$	0,65
Napięcie - czas pomiaru (bulwa o masie 38 g)	$y = -1E-05x^2 + 0,0184x + 4,5646$	0,59
Napięcie - masa bulwy	$y = 1,5686x - 1,84$	0,95

Tabela 2. Wyniki jednowymiarowego testu istotności; wpływ masy bulwy ziemniaka na wartość napięcia (przyjęto poziom istotności $\alpha = 0,05$)

Table 2. Results of one-dimensional significance test; the impact of potato tuber mass on voltage value (assumed significance level: $\alpha = 0.05$)

Predyktor jakościowy	Suma kwadratów	Stopnie swobody	Średni kwadrat	F	p
Wyraz wolny	342,0563	1	342,0563	368,6270	0,0000
Masa bulwy	200,7706	5	40,1541	43,2733	0,0000
Błąd	22,2701	24	0,9279		

Potencjał elektryczny...

Tabela 3. Wyniki testów post-hoc; grupy jednorodne (przyjęto poziom istotności $\alpha = 0,05$)

Table 3. Results of post-hoc tests; homogeneous groups (assumed significance level: $\alpha = 0.05$)

Nr podklasy	Masa bulwy	Napięcie [mV]	Grupy jednorodne			
			1	2	3	4
1	29 g	0,668000	****			
2	38 g	0,818000	****			
3	51 g	1,944000	****	****		
4	66 g	3,500000		****		
5	92 g	5,530000			****	
6	108 g	7,800000				****

Zgodnie z drugą zasadą termodynamiki, praca może zostać wykonana nie tylko dzięki różnicy temperatur, ale również pod wpływem różnic innych czynników: różnic stężeń, potencjałów chemicznych czy potencjałów elektrycznych. Zdaniem Przestalskiego [1977], w przypadku materiału roślinnego, może to być praca związana z utlenianiem związków pokarmowych uzależniona od napięcia oksydoredukcyjnego. Napięcie elektryczne najogólniej wyraża się stosunkiem pracy do ładunku. Praca oksydoredukcyjna jest pracą elektryczną związaną z przeniesieniem ładunku elektrycznego biorącego udział w reakcjach utleniania (redukcji) – jest to przykład procesu będącego przemianą energii chemicznej w elektryczną [Przestalski 1977]. Ujmując w taki sposób powyższe zagadnienie roślinę można nazwać maszyną chemielektryczną, a w dalszej kolejności chemimechaniczną. W bulwie ziemniaka zachodzić będzie zjawisko równowagi Donnana, które powstaje w układach składających się z roztworów elektrolitycznych przedzielonych błoną nieprzenikalną dla jednego rodzaju jonów, a przepuszczalną dla jonów pozostałych i dla rozpuszczalnika. W stanie równowagi Donnana na skutek tego, że stężenia jonów po dwóch stronach błony są różne powstaje tzw. napięcie Donnana. W procesie tym jony z przedziału o większym ich stężeniu przechodzą w wyniku dyfuzji do przedziału charakteryzującego się mniejszym ich stężeniem.

Paraboliczny przebieg wartości napięcia wytworzonego przez bulwę ziemniaka wskazuje, że przez pewne okresy czasowe, napięcie to jest stabilne i nie zmienia się o znaczne wartości. Tłumaczeniem tego stanu może być fakt, że napięcie elektryczne powstaje również na granicy zetknięcia roztworów charakteryzujących się różną ruchliwością jonów i różnymi stężeniami. Zjawisko to określane jest mianem napięcia dyfuzyjnego - jony obu znaków dyfundują z roztworu o stężeniu wyższym do roztworu o stężeniu niższym. Podczas dyfuzji jony o większej ruchliwości wyprzedzają jony o ruchliwości mniejszej, w wyniku czego dochodzi do rozdzielenia jonów dodatnich i ujemnych. Powstałe w ten sposób pole elektryczne hamuje dalszą wędrówkę jonów ruchliwszych, a przyspiesza ruch jonów powolnych, wyrównując tym samym ich prędkość. Proces ten skutkuje tym, iż na granicy zetknięcia roztworów stabilizuje się stan o charakterystycznej wartości różnicy potencjałów. Zaznaczyć należy, że potencjały dyfuzyjne mają na ogół wartość rzędu setnych lub tysięcznych części wolta a napięcie Donnana przeważnie nie przekracza wartości 100 mV.

Przyczyną istnienia potencjału elektrycznego w bulwie ziemniaka może być jej skład biochemiczny sprawiający, że substancje organiczne i mineralne rozpuszczone w wodzie spełniają rolę elektrolitu. Przy zanurzeniu metalu w roztworze elektrolitu powstaje warstwa

podwójna ładunków i napięcie kontaktowe, które zapobiega dalszemu rozpuszczaniu się jonów metalu w wodzie. Dwa ogniwa wbite w bulwę ziemniaka graniczące ze sobą w sposób taki, że możliwa jest wędrówka ładunku elektrycznego z jednej elektrody do drugiej, po połączeniu tych elektrod przewodem na zewnątrz roztworu utworzą ogniwo elektrolityczne. Reakcje zachodzące przy obu elektrodach dostarczają energii, która jest źródłem pracy prądu elektrycznego w ogniwie. Zależnie od rodzaju elektrodowych ogniw, reakcję można podzielić na dwa typy: ogniwa chemiczne, w których praca elektryczna powstaje dzięki reakcji chemicznej oraz ogniwa stężeniowe, w których źródłem energii elektrycznej jest praca związana z procesem wyrównywania się składu elektrolitu. W obu tych przypadkach zawsze występuje napięcie dyfuzyjne. Jednakże na granicy między ciałem stałym i cieczą mogą powstawać również napięcia oksydoredukcyjne wywołane procesami utleniania, czyli w tym przypadku oddawania elektronów, oraz redukcji czyli pobierania elektronów [Przestalski 1977].

Podsumowanie

Właściwości elektryczne dowolnej substancji uwarunkowane są przewodnością właściwą (konduktywnością), przenikalnością elektryczną, rezystancją i tangensem kąta stratności. Konduktywność substancji zależy od rodzaju i stężenia ładunków swobodnych będących nośnikami prądu oraz warunków ich ruchu po przyłożeniu pola elektrycznego. Przenikalność elektryczna zależy od rozkładu przestrzennego ładunków związanych w atomach lub cząsteczkach oraz ich zdolności wzajemnego przemieszczania się. Rezystancja jest wielkością charakterystyczną dla substancji w danej temperaturze i nie zależy od napięcia, natomiast tangens kąta stratności jest miarą strat dielektryka. Wielkości te są funkcjami częstotliwości pola i temperatury.

Przedstawione wyniki wskazują, że bulwa ziemniaka, w zależności od jej masy, wytwarza napięcie w przedziale 0,7-8,2 mV. Zauważalny jest, wraz ze wzrostem masy bulwy ziemniaka, proporcjonalny wzrost wartości napięcia elektrycznego. Zależność między wartością napięcia i czasem pomiaru ma charakter nieliniowy. Równaniami najlepiej opisującymi, poprzez wartość współczynnika determinacji, powyższą zależność są wielomiany drugiego stopnia. Na podstawie przeprowadzonych badań nie można sformułować konkretnych wniosków jednakże uzyskane wyniki stanowią podstawę do kontynuowania badań. Badania w tym zakresie powinny uwzględniać między innymi: kolejne odmiany ziemniaka, działanie światła, stopień dojrzałości bulwy czy jej stan fizjologiczny.

Bibliografia

- Przestalski S.** 1977. Fizyka z elementami biofizyki i agrofizyki. PWN. Warszawa. s. 336-446.
- Cempel C.** 1993. Theory of energy transformation systems and their application in diagnostics of operating systems, Applied Mathematics and Computer Science. No 3. s. 533- 548.
- Stanisz A.** 2007. Modele liniowe i nieliniowe. Wydawnictwo StatSoft. Kraków. s. 21-35.
- Winiwarter P., Cempel C.** 1992. Life Symptoms - the Behaviour of Open Systems with Limited Energy Dissipation Capacity and Evolution, System Research, Vol. 3. No 4. s. 9-34.

- Wiśniewski S.** 2005. Termodynamika techniczna. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. Warszawa. s. 14.
- Wieczer A., Gonczarik M.** Fizjologia i biochemia ziemniaka. PWRiL. Warszawa. s.139.
- Zydroń P.** 2001. Wybrane zagadnienia analizy czasowej i częstotliwościowej wyładowań niezupełnych. Wydawnictwo AGH Kraków. ISBN 83-908210-3-6.

POTATO TUBER ELECTRIC POTENTIAL

Abstract. Electric potential is one of primary parameters describing electric field. Test results indicate that potato tuber generates voltage within range of 0.7-8.2 mV, and voltage value increases with growing tuber mass. The relation between voltage value and measurement duration has non-linear character. It should be emphasised that electrical properties of any substance are determined by specific conductance (electrical conductivity), permittivity, resistance and lossiness angle tangent.

Key words: electric potential, potato, resistance, voltage

Adres do korespondencji:

Norbert Marks; e-mail: Norbert.Marks@ur.krakow.pl
Instytut Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
ul. Balicka 116B
30-149 Kraków