

## ZASTOSOWANIE SZTUCZNYCH SIECI NEURONOWYCH DO OCENY STOPNIA DOJRZAŁOŚCI JABŁEK

Michał Górski, Jacek Kaleta

*Instytut Techniczny, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Nowym Sączu*

Jerzy Langman

*Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie*

**Streszczenie.** Ocena stopnia dojrzałości jabłek polega na porównaniu kilku mierzalnych parametrów ze stabelaryzowanymi wartościami granicznymi i podjęciu decyzji czy oceniany owoc znajduje się w danym stadium dojrzałości. W pracy podjęto próbę zastosowania sztucznej sieci neuronowej jako klasyfikatora wykorzystywanego do oceny stopnia dojrzałości jabłek.

**Słowa kluczowe:** Dojrzałość jabłek, sztuczne sieci neuronowe

### Wprowadzenie

Oceniając stopień dojrzałości jabłek, bierze się pod uwagę wiele różnych kryteriów. Zaliczamy do nich zarówno kryteria dotyczące właściwości fizycznych jak i chemicznych rosnącego owocu. Przez dojrzałość zbiorczą jabłek, jak i innych owoców ziarnkowych, rozumie się taki ich stan fizjologiczny, w którym charakteryzują się one najmniejszą intensywnością oddychania. W czasie wzrostu owoc oddycha najintensywniej. Z czasem intensywność ta zmniejsza się i ustala na niemal stałym poziomie, aż do czasu osiągnięcia dojrzałości zbiorczej. Z kolei dojrzałością konsumpcyjną nazywa się taki stan fizjologiczny owoców, w którym uzyskują one najbardziej atrakcyjny wygląd oraz optymalne wartości smakowe. Taki stan owoców charakteryzuje się dużą intensywnością oddychania i trwa stosunkowo krótko. Po przejściu tego okresu owoce tracą na smaku i wyglądzie. Okres przechowywania to okres od uzyskania dojrzałości zbiorczej (najmniejsza intensywność oddychania) do uzyskania dojrzałości konsumpcyjnej (bardzo intensywne oddychanie i przejścia w tzw. okres klimakteryki). W dotychczasowych badaniach sugerowano kilka różnych testów dojrzałości zbiorczej wykorzystując parametry fizykochemiczne jak i zmiany biochemiczne owocu zachodzące w czasie dojrzewania.

W pracy do określenia stopnia dojrzałości owocu, a w tym wypadku jabłka odmiany Gloster, skupiono się na kilku podstawowych parametrach takich jak:

- średnica,
- wybarwienie (w tym barwa podstawowa i wielkość rumieńca),
- jędrność,
- indeks skrobiowy,

- wskaźnik Streifa,
- zawartość cukrów.

Są to wskaźniki łatwe do wykorzystania w praktyce i pomocne przy określeniu stopnia dojrzałości owocu, stosowane do oceny w Sadowniczym Zakładzie Doświadczalnym w Brzeźnej.

### Struktura plików uczących i testujących

W celu powiązania ze sobą wskaźników służących do oceny stopnia dojrzałości jabłek i opracowania jednoznacznej odpowiedzi wynikającej z analizy powyższych danych zastosowano sztuczne sieci neuronowe. Jako dane wejściowe przyjęto 4 mierzalne cechy, jeden wskaźnik (indeks Striefa) oraz jedną cechę porównywalną ze wzorcem (wybarwienie). O ile mierzalne cechy oraz obliczany wskaźnik są wartościami liczbowymi i użycie ich jako danych wejściowych dla procesu uczenia i testowania sztucznej sieci neuronowej nie przedstawia problemu, to w przypadku wybarwienia przyjęto 4 stopniową skalę zgodności cechy z wzorcem odmianowym.

Do uczenia sieci neuronowej wykorzystano algorytm wstecznej propagacji błędów. Pociąga to za sobą konieczność stworzenia zbiorów danych uczących i zbiorów danych testujących wykorzystanych później do weryfikacji poprawności działania sieci. W tym celu należało utworzyć 4 pliki danych. Dwa pliki na wejście i pozostałe dwa na wyjście. Dane zawarte w plikach wejściowych, są to dane zebrane podczas badań przeprowadzonych w Sadowniczym Zakładzie Doświadczalnym w Brzeźnej dla odmiany jabłek Gloster, natomiast plik wyjściowy jest plikiem binarnym określającym dwa stany: dojrzałość owocu lub jego niedojrzałość. Struktura przykładowego pliku uczącego wejściowego i wyjściowego przedstawia się następująco:

- plik uczący wejściowy	
7.8 8 7.9 7.8 8.2 7.1 7 6.8 7.2 7.1	średnica owocu
2 2 2 2 2 2 1 2 1	barwa podstawowa
0.7 0.82 0.9 0.72 0.89 0.7 0.65 0.58 0.62 0.59	wielkość rumieńca
9.8 9.8 10 9.4 10.8 9.5 9.7 8.6 9.5 6	jędrność 1
8.5 9.3 9.1 9.8 9.1 9.7 8.7 7.9 8 7.7	jędrność 2
2 2 3 2 2 1 1 1 2 2	indeks skrobiowy
0.28 0.37 0.32 0.29 0.32 0.2 0.21 0.15 0.26 0.24	wskaźnik Streifa
12.6 11.5 11 10.2 11.7 11 11.2 11.1 11.3 11.1	zawartość cukrów
- plik uczący wyjściowy	
1 1 1 1 1 0 0 0 1 1	wyjście (1 –dojrzały, 0 –niedojrzały).

Struktura plików testujących jest identyczna z plikami uczącymi. Zawierają one dane służące do testowania sieci różne od danych zawartych w pliku uczącym.

Jędrność ocenianego owocu została podana jako dwie wartości, jedna dotyczy strony z rumieńcem, a druga strony przeciwnej jabłka.

Dane liczbowe podawane na wejście sieci przyjmują wartości należące do różnych przedziałów. Z punktu widzenia efektywności procesu uczenia sieci najkorzystniejszą jest podawać na wejście sieci dane z przedziału (0,1). Jest to spowodowane lepszym wykorzystaniem nieliniowego fragmentu przebiegu funkcji aktywacji poszczególnych warstw sieci, a zwłaszcza warstwy ukrytej.

W tym celu dokonano normalizacji danych wejściowych wykorzystując zależność (1).

$$x_n = \frac{x_{max} - x_i}{x_{max} - x_{min}} \quad (1)$$

gdzie:

- $x_n$  – wartość znormalizowana,
- $x_{max}$  – wartość maksymalna,
- $x_{min}$  – wartość minimalna,
- $x_i$  – wartość podlegająca normalizacji.

### **Architektura sieci neuronowej i wyniki badań**

Przyjęto sieć o 8 wejściach, 1 wyjściu i 1 warstwie ukrytej. Liczba neuronów w warstwie ukrytej była zmieniana od 2 do 12. Optymalna liczba neuronów w warstwie ukrytej zawiera się w przedziale 4–6. Wówczas podczas testowania wytrenowanej sieci uzyskiwano błąd średniokwadratowy na poziomie 0.02.

Dla wszystkich neuronów zastosowano sigmoidalną funkcję aktywacji.

Pliki uczące zawierały po 30 elementów (przykładów), co okazało się ilością wystarczającą do efektywnego uczenia sieci. Podczas uczenia osiągnęto średniokwadratowy błąd uczenia sieci na poziomie 0.001 w 137–580 powtórzeniach (cyklach uczenia).

Przyjęta metoda uczenia sieci, wykorzystująca algorytm wstecznej propagacji błędów okazała się wystarczająca do odwzorowania w zbiorze wag połączeń międzyneuronowych problemu oceny stopnia dojrzałości jabłek odmiany Gloster.

### **Możliwości modyfikacji architektury sieci do oceny stopnia dojrzałości jabłek**

Za pomocą sztucznej sieci neuronowej o zaprezentowanej architekturze można dokonać oceny tylko jednego gatunku jabłek. Aby można było w oparciu o sztuczne sieci neuronowe zbudować system służący do określania stopnia dojrzałości kilku gatunków jabłek należy zaproponowaną architekturę sieci zmodyfikować. Modyfikacja polega na dodaniu kilku neuronów na wejściu sieci, które posłużą do wprowadzania w postaci binarnej kodu analizowanej odmiany jabłek. Pozostałe wejścia będą służyć do wprowadzania wartości parametrów opisujących stan analizowanego owocu. Ponieważ odmiana jabłek jest zmienną kategoryczną o „n” możliwych wartościach będzie musiała posiadać zakodowaną w zbiorze (gdzie n – liczba uwzględnionych odmian jabłek) większą ilość informacji, będzie zachodzić potrzeba powiększenia pojemności informacyjnej sieci. Można tego dokonać powiększając ilość neuronów w warstwie ukrytej, gdyż ilość wejść i wyjść sieci jest zdeterminowana problemem który jest odwzorowywany za pomocą sztucznej sieci neuronowej.

## Podsumowanie

Przeprowadzone badania pozwalają na stwierdzenie, że sztuczne sieci neuronowe mogą być wykorzystywane do budowy klasyfikatora za pomocą którego możliwa jest ocena stopnia dojrzałości jabłek. Zaproponowana architektura sieci, a zwłaszcza zastosowanie sigmoidalnych funkcji aktywacji warstwy ukrytej i wyjściowej, pozwoliła na uzyskanie niskich błędów (na poziomie 2 – 4%) podczas eksploatacji wytrenowanej sieci. Zaproponowana możliwość rozbudowy sieci przez wprowadzenie dodatkowych wejść na które podawane będą kody binarne analizowanych odmian jabłek pozwoli na zbudowanie systemu do automatycznej oceny stopnia dojrzałości wielu odmian jabłek.

## Bibliografia

- Żurada J., Barski M., Jędruch W.** 1996. Sztuczne sieci neuronowe. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa. s.127-230.
- Korbicz J., Obuchowicz A.** 1994. Sztuczne sieci neuronowe. Podstawy i zastosowania. Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa. s. 90-125.
- Rutkowski L.** 2005. Metody i techniki sztucznej inteligencji. Wydawnictwa Naukowe PWN. Warszawa. s. 65-98.
- Oowski S.** 1996. Sieci neuronowe w ujęciu algorytmicznym. WNT. Warszawa. s. 78-119.
- Jankiewicz L.S.** 1984. Fizjologia roślin sadowniczych. PWN. Warszawa. s. 45-78.
- Lange E., Ostrowski W.** 1980. Przechowalnictwo owoców. PWRiL, Warszawa. s. 78-90.
- Pieniżek S.A.** 1995. Sadownictwo. PWRiL, Warszawa. s. 34-120.

## USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS TO ASSESS APPLES RIPENESS DEGREE

**Abstract.** Assessment of apple ripeness degree involves comparing of several measurable parameters to their tabularised boundary values and deciding, whether a given fruit is currently at a certain ripeness stage. The scope of work included an attempt to use an artificial neural network as a classifier employed to assess ripeness degree of apples.

**Key words:** ripeness of apples, artificial neural networks

### Adres do korespondencji:

Jerzy Langman; e-mail: rlangma@cyf-kr.edu.pl  
Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie  
ul. Balicka 120  
30-149 Kraków