

## Przewidywanie wieku słuchotki (z ang. *Abalone*) na podstawie pomiarów fizycznych przy użyciu algorytmu ANFIS.

Anna Maria Ledwoń

### 1. Opis problemu, który ma być rozwiązany z wykorzystaniem systemowej reprezentacji wiedzy z wykorzystaniem logiki rozmytej

Słuchotki (z ang. *Abalones*) to skorupiak uważany za przysmak w wielu częściach świata, tj. Ameryka Łacińska, Francja, Nowa Zelandia, Azja Południowo-Wschodnia. Jest on doskonałym źródłem żelaza i kwasu pantotenowego. 100 gramów brzucha słuchotka dostarcza ponad 20% zaleconego dziennego spożycia tych substancji odżywczych. Muszle abalone ze względu na swoją unikalną różnorodność barw są popularne w przemyśle biżuteryjnym.



Rys. 1. *Słuchotka*.

Ze względu na swoją popularność w gastronomii i przemyśle biżuteryjnym kłusownictwo zmniejszyło liczbę dzikich populacji do tego stopnia, że aktualnie hodowla dostarcza teraz większość spożywanego mięsa słuchotek na świecie. Są one głównie hodowane w Chinach, Tajwanie, Japonii i Korei. Natomiast mniejsze hodowle Abalone można spotkać również w Australii, Kanadzie, Chile, Francji, Islandii, Irlandii, Meksyku, Namibii, Nowej Zelandii, Republice Południowej Afryki, Tajlandii i Stanach Zjednoczonych.

Wartość ekonomiczna słuchatek jest dodatnio skorelowana z ich wiekiem, dlatego dokładne określenie ich wieku jest ważne dla hodowców i klientów w celu ustalenia ceny danego osobnika. Jednak sposób określenia wieku abalone jest dość kosztowny, mało efektywny i przypomina trochę oszacowanie wieku drzewa. Ilość pierścieni na skropie brzucha słuchotek określa mniej więcej jej wiek. W tym celu należy rozciąć muszlę, wypolerować i zabarwić skorupę słuchotki, a następnie pod mikroskopem określić liczbę pierścieni. Czasami określenie konkretnej liczby pierścieni jest niemożliwe i trudne, ponieważ mogą one zlewać się ze sobą, dlatego do oszacowanej liczby pierścieni dodaje się się 1.5 co daje przybliżony wiek słuchotki. Ta złożona metoda zwiększa koszty i ograniczenia jego popularność. Dlatego badacze są zainteresowani powiązaniem wieku abalone z takimi zmiennymi jak długość, wzrost i waga zwierzęcia. Jeśli można znaleźć dość dokładny model przewidujący wiek Abalone, to hodowcy zminimalizowaliby koszty, a klienci otrzymaliby dobrej jakości produkt.



Rys. 2. Pierścienie na skorupie abalone pod mikroskopem.

W projekcie zastosowano algorytm ANFIS (z ang. *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*) zaliczanego do systemów neuronowo-rozmytych. Dzięki połączenia sieci neuronowej z logiką rozmytą algorytm jest w stanie uczyć się z danych numerycznych i operować informacjami lingwistycznymi. Cechą systemu NFS jest umiejętność konstruowania samodzielnie reguł logicznych na podstawie dostarczonych danych, który w przypadku problemu określenia wieku słuchotek wydaje się dobrym wyborem.

## 2. Reprezentacja bazy danych użytej w projekcie

Baza danych służąca do przewidywania wieku słuchotek za pomocą pomiarów fizycznych została pobrana ze strony: <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Abalone>.

- Całkowita liczba rekordów w zbiorze danych: 4176
- Całkowita liczba zmiennych w zbiorze danych: 8
- Lista zmiennych w zbiorze danych przedstawiono poniżej.

Tab.1. Lista zmiennych zbioru danych do przewidywania wieku słuchotek.

Nazwa	Typ zmiennych	Jednostka	Opis
Sex	Kategoria	-	M (mężczyzna), F (kobieta), I (niemowle)
Length*	Ciągła	mm	Długość skorupy
Diameter*	Ciągła	mm	Prostopadły pomiar do długości/srednica skorupy
Height	Ciągła	mm	Wysokość ciała z mięsem w skorupie
Whole weight	Ciągła	g	Całą masę zwierzęcia
Shucked weight*	Ciągła	g	Masa mięsa bez skorupy
Viscera weight	Ciągła	g	Masa jelit
Shell weight*	Ciągła	g	Masa muszli
Rings*	Ciągła	-	Liczba pierścieni na muszli

\* wybrane zmienne wejściowe do projektu z zastosowaniem logiki rozmytej

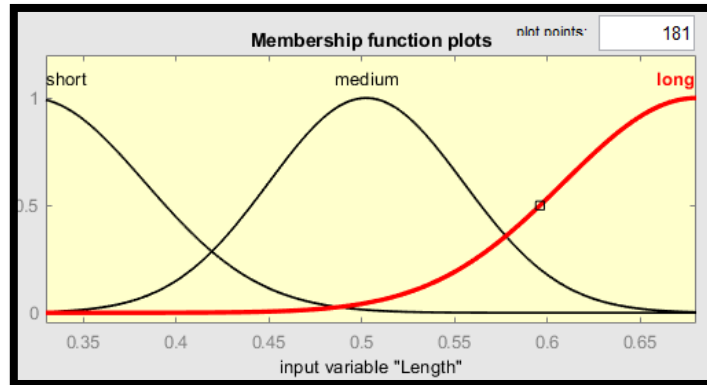
Do analizy za pomocą algorytmu ANFIS w programie MATLAB użyto 25 rekordów z bazy przy całkowitej liczbie zmiennych równej 4. Pominięto zmienne takie jak: Sex, Height, Viscera weight.

Zmienną Sex pominięto z powodu, że jest zmienną jakościową, a ponieważ algorytm ANFIS przyjmuje tylko dane numeryczne. Natomiast Height, Viscera weight i Whole weight pominięto z powodu bardzo dużej ilości generowanych reguł logicznych (ok. 3 tys) i braku mocy obliczeniowej komputera dla tak dużego modelu w celu jego uczenia oraz trudności interpretacji wyników analizy.

Algorytmowi ANFIS narzucono podzielenie zakresu każdej ze zmiennej na trzy zbiory rozmyte z typem funkcji jako gaussmf (funkcja Gaussa).

### 3. Reprezentacja wybranych zmiennych lingwistycznych w postaci zbiorów rozmytych

- Zmienna *Length*:



Rys. 3. Zmienna *Length* przedstawiona w postaci trzech zbiorów rozmytych.

Zakres zmiennej (Range): [0.33 0.68];

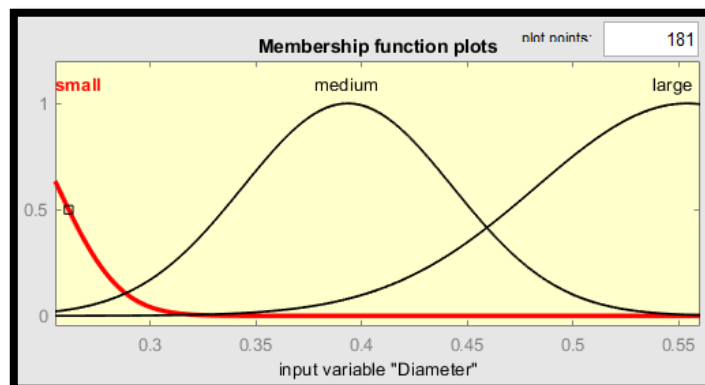
Jednostka: mm;

Zbiory rozmyte:

- Short (typ funkcji przynależności: gaussmf)
- Medium (typ funkcji przynależności: gaussmf)
- Long (typ funkcji przynależności: gaussmf)

Uzasadnienie wyboru: Length jest wartością opisującą długość ciała skorupiaka, dlatego podzielono ją na trzy zbiory rozmyte – short (mała długość ciała), medium (średnia), long (długa).

- Zmienna *Diameter*:



Rys. 4. Zmienna *Diameter* przedstawiona w postaci trzech zbiorów rozmytych.

Zakres zmiennej (Range): [0.255 0.56];

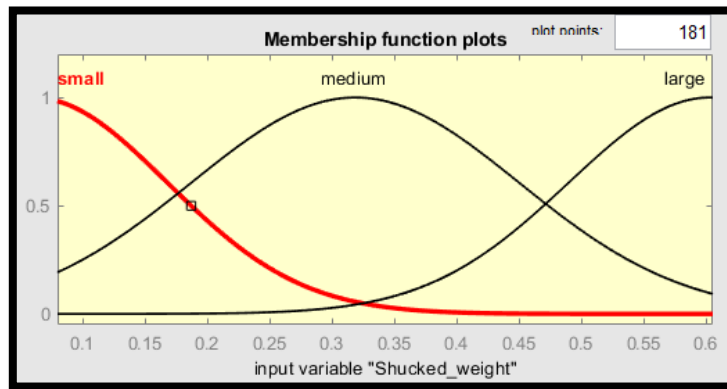
Jednostka: mm;

Zbiory rozmyte:

- Small (typ funkcji przynależności: gaussmf)
- Medium (typ funkcji przynależności: gaussmf)
- Large (typ funkcji przynależności: gaussmf)

Uzasadnienie wyboru: Zmienna *Diameter* opisuje szerokość/średnicę muszli abalone. Jest wartością prostopadłą do zmiennej *Length*. Przez ANFIS'a została podzielona na trzy zbiory rozmyte – small (małą średnicę muszli), medium (średnią szerokość muszli) i large (dużą średnicę muszli).

- Zmienna *Shucked weight*:



Rys. 5. Zmienna *Shucked weight* przedstawiona w postaci trzech zbiorów rozmytych.

Zakres zmiennej (Range): [0.08 0.6055];

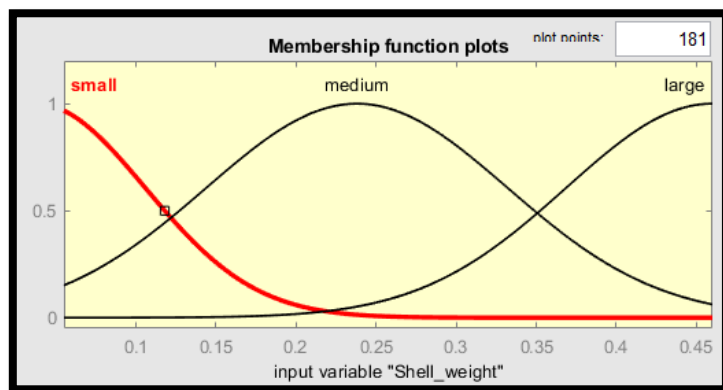
Jednostka: g;

Zbiory rozmyte:

- Small (typ funkcji przynależności: gaussmf)
- Medium (typ funkcji przynależności: gaussmf)
- Large (typ funkcji przynależności: gaussmf)

Uzasadnienie wyboru: Zmienna *Shucked weight* opisuje masę zwierzęcia bez muszli. Podzieliło również tą zmienną na trzy zbiory rozmyte – small, medium i large, czyli zwierzę o małej masie, średniej i dużej bez muszli.

- Zmienna *Shell weight*:



Rys. 6. Zmienna *Shell weight* przedstawiona w postaci trzech zbiorów rozmytych.

Zakres zmiennej (Range): [0.055 0.46];

Jednostka: g;

Zbiory rozmyte:

- Small (typ funkcji przynależności: gaussmf)
- Medium (typ funkcji przynależności: gaussmf)
- Large (typ funkcji przynależności: gaussmf)

Uzasadnienie wyboru: Zmienna *Shell weight* opisuje masę muszli zwierzęcia. Zmienną podzielono na trzy zbiory rozmyte – small, medium i large, czyli muszę zwierzęcia zwierzę o małej masie, średniej i dużej.

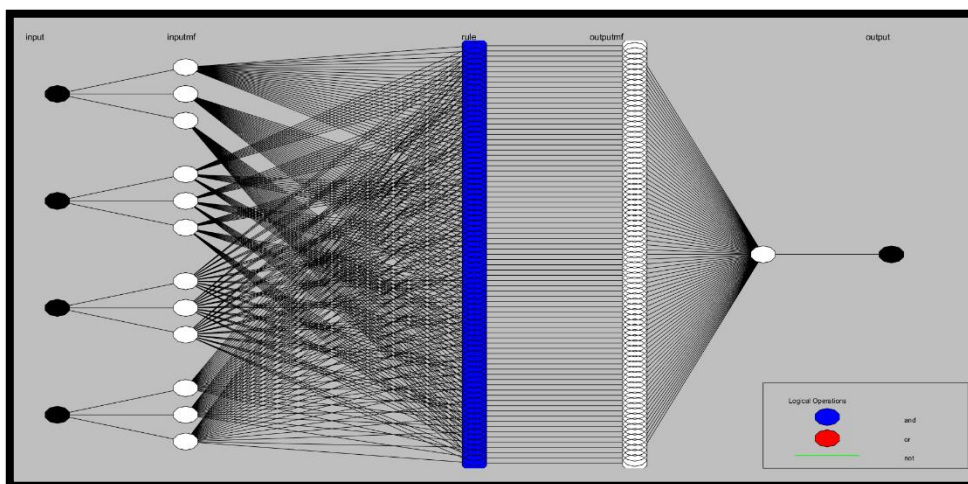
Poniżej zebrano w tabeli wszystkie zbiory rozmyte z czterech zmiennych lingwistycznych.

Tab.2. Dane o zbiorach rozmytych.

Zmienna	Zbiór rozmyty	Typ funkcji	Punkty przęgięcia	
			a	b
Length	Short	gaussmf	0.06553	0.3253
	Medium	gaussmf	0.06064	0.5092
	Long	gaussmf	0.07504	0.6772
Diameter	Small	gaussmf	0.02476	0.2261
	Medium	gaussmf	0.05365	0.3826
	Large	gaussmf	0.0654	0.5592
Shucked weight	Small	gaussmf	0.1076	0.06042
	Medium	gaussmf	0.1314	0.3188
	Large	gaussmf	0.1133	0.6032
Shell weight	Small	gaussmf	0.06843	0.03736
	Medium	gaussmf	0.09413	0.238
	Large	gaussmf	0.09109	0.4597

#### 4. Rozmyta baza wiedzy

W stworzonym modelu za pomocą algorytmu ANFIS reguły logiczne stworzyły się samoistnie w oparciu o dane uczące. Przy zastosowaniu czterech zmiennych z czego każda posiada po trzy zbiory rozmyte uzyskano 81 reguł oraz poniższą strukturę NFS.



Rys. 7. Struktura modelu Abalone za pomocą algorytmu ANFIS (z ang. *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*) zaliczanego do systemów neuronowo-rozmytych.



[illegible]

54. If (Length is long) and (Diameter is medium) and (Shucked\_weight is small) and (Shell\_weight is small) then (Rings is out1mf64) (1)  
 55. If (Length is long) and (Diameter is medium) and (Shucked\_weight is small) and (Shell\_weight is medium) then (Rings is out1mf65) (1)  
 56. If (Length is long) and (Diameter is medium) and (Shucked\_weight is small) and (Shell\_weight is large) then (Rings is out1mf66) (1)  
 57. If (Length is long) and (Diameter is medium) and (Shucked\_weight is medium) and (Shell\_weight is small) then (Rings is out1mf67) (1)  
 58. If (Length is long) and (Diameter is medium) and (Shucked\_weight is medium) and (Shell\_weight is medium) then (Rings is out1mf68) (1)  
 59. If (Length is long) and (Diameter is medium) and (Shucked\_weight is medium) and (Shell\_weight is large) then (Rings is out1mf69) (1)  
 60. If (Length is long) and (Diameter is medium) and (Shucked\_weight is large) and (Shell\_weight is small) then (Rings is out1mf70) (1)  
 61. If (Length is long) and (Diameter is medium) and (Shucked\_weight is large) and (Shell\_weight is medium) then (Rings is out1mf71) (1)  
 62. If (Length is long) and (Diameter is medium) and (Shucked\_weight is large) and (Shell\_weight is large) then (Rings is out1mf72) (1)  
 63. If (Length is long) and (Diameter is large) and (Shucked\_weight is small) and (Shell\_weight is small) then (Rings is out1mf73) (1)  
 64. If (Length is long) and (Diameter is large) and (Shucked\_weight is small) and (Shell\_weight is medium) then (Rings is out1mf74) (1)  
 65. If (Length is long) and (Diameter is large) and (Shucked\_weight is small) and (Shell\_weight is large) then (Rings is out1mf75) (1)  
 66. If (Length is long) and (Diameter is large) and (Shucked\_weight is medium) and (Shell\_weight is small) then (Rings is out1mf76) (1)  
 67. If (Length is long) and (Diameter is large) and (Shucked\_weight is medium) and (Shell\_weight is medium) then (Rings is out1mf77) (1)  
 68. If (Length is long) and (Diameter is large) and (Shucked\_weight is medium) and (Shell\_weight is large) then (Rings is out1mf78) (1)  
 69. If (Length is long) and (Diameter is large) and (Shucked\_weight is large) and (Shell\_weight is small) then (Rings is out1mf79) (1)  
 70. If (Length is long) and (Diameter is large) and (Shucked\_weight is large) and (Shell\_weight is medium) then (Rings is out1mf80) (1)  
 71. If (Length is long) and (Diameter is large) and (Shucked\_weight is large) and (Shell\_weight is large) then (Rings is out1mf81) (1)

## 5. Uzasadnienie przyjętych operatorów logicznych

W poniższej tabeli zebrano operatory logiczne przyjęte w modelu Abalone.

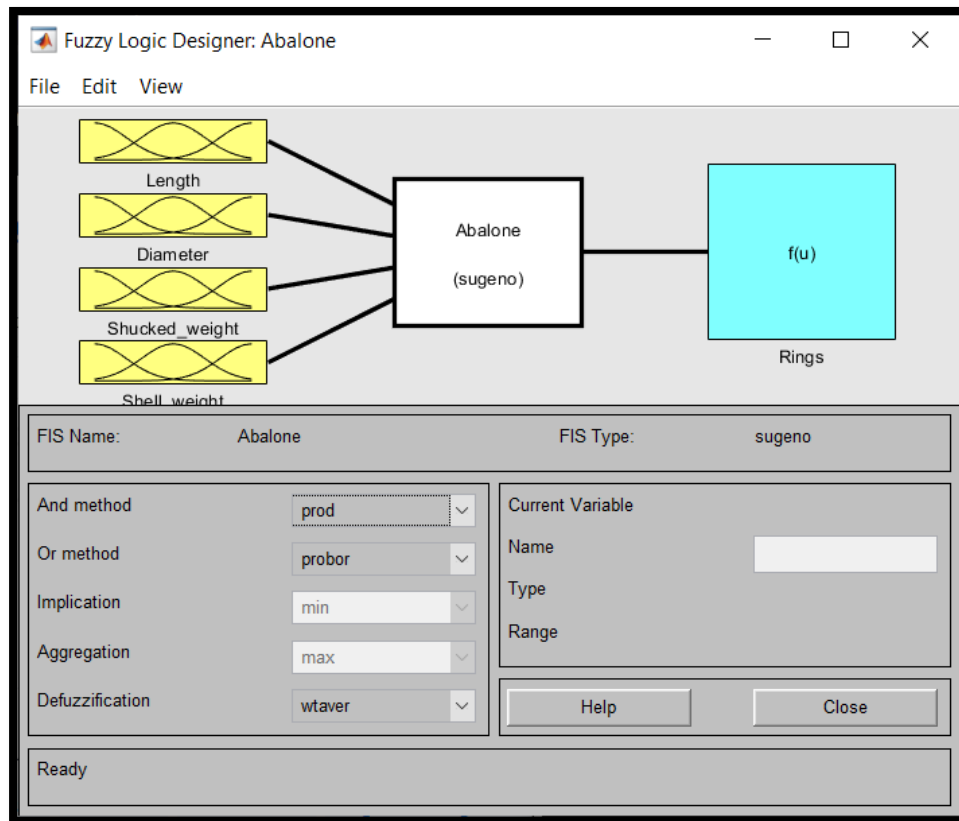
Tab. 3. Opis i uzasadnienie przyjętych operatorów logicznych.

Funkcja logiczna	Nazwa operatora	Przyjęty wzór	Uzasadnienie
And method	prod	$\text{prod}(a,b) = a*b$	Przy operatorze prod uzyskano mniejszy zakres błędu niż przy dostępnej dla ANFIS'a metodzie min.
Or method	probor	$\text{probor}(a, b) = a + b - ab$	Przy operatorze probor uzyskano mniejszy zakres błędu niż przy dostępnej dla ANFIS'a metodzie max.
Defuzzification	wtaver	Średnia ważona wartości wyjściowych zbioru rozmytego	Do wyboru oprócz średniej ważonej była również ważona suma. Wybrano średnią ważoną z powodu logicznego rozumowania.

## 6. IMPLEMENTACJA

Na samym początku przystąpiono do wyboru zbioru danych, który opisano w punkcie drugim. Następnie wybrano 25 rekordów z bazy i odrzucono 3 zmienne zostawiając cztery najbardziej znaczące. Wyjaśnienie dlaczego wybrano akurat te dane wejściowe omówiono w punkcie drugim przy reprezentacji danych.

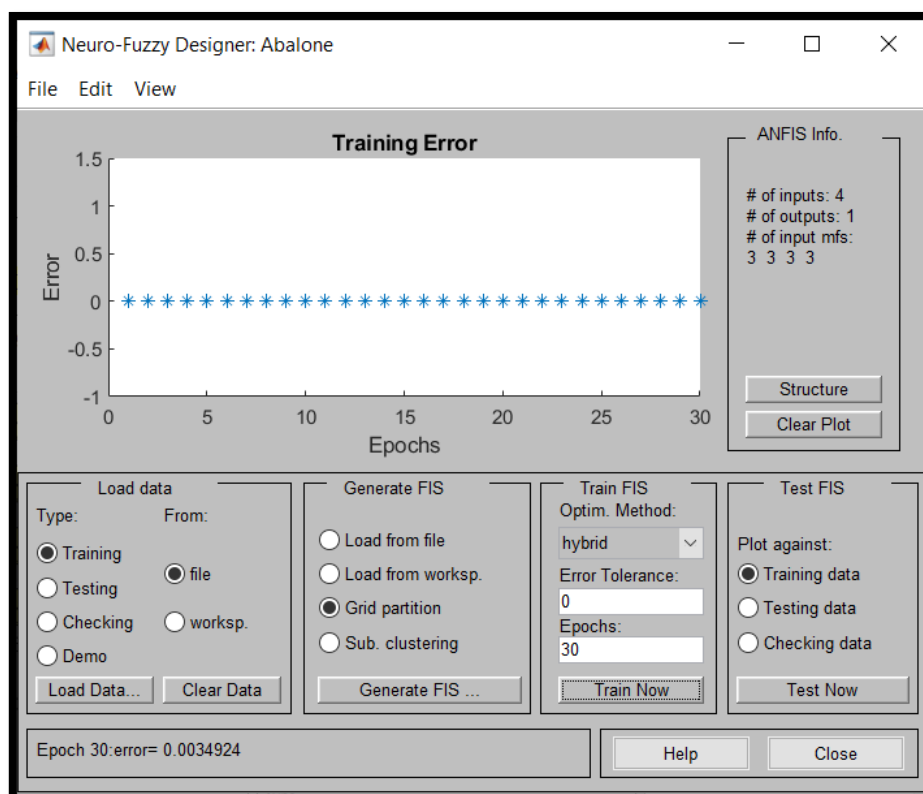
Przystąpiono do implementacji modelu w programie MATLAB. Dodano cztery inputy oraz jeden output. Z pośród listy rozwijanej wybrano And method, Or method i Defuzzification. Uzasadnienie wyboru operatorów logicznych znajduje się w punkcie piątym projektu.



Rys. 8. Okno Fuzzy Logic programu MATLAB.

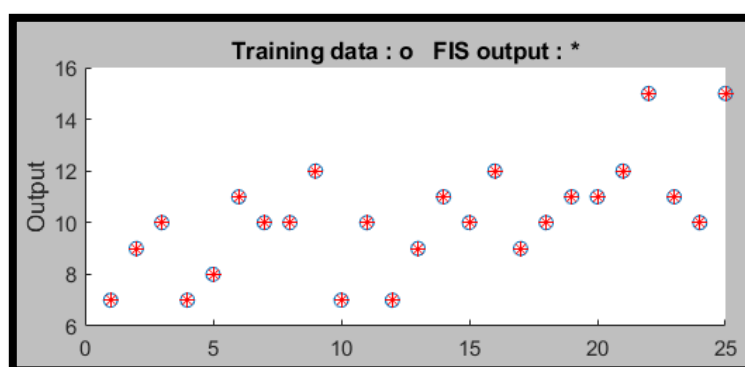
Następnie za pomocą metody ANFIS z zakładki Edit uruchomiono okno Neuro-Fuzzy Designer'a, do którego załadowano wcześniej stworzony plik txt. Następnie w opcji Generate FIS podzielono każdy zakres zmiennej wejściowej na trzy zbiory rozmyte określone funkcją Gaussa. Potem w oknie Train FIS wybrano metodę hybrydową jako metodę optymalizacji oraz epochs równy 30. Po tym treningu uczenia uzyskujemy error równy 0.0034924. Jest to najniższy wynik uzyskany przy wszystkich innych próbach zmiany operatorów logicznych, funkcji i ilości zbiorów rozmytych oraz metody optymalizacji. Świadczy to o wyborze najlepszych możliwych parametrów dla załadowanych danych wejściowych.





Rys. 9. Okno Neuro-Fuzzy Designer'a programu MATLAB.

Sprawdzono również za pomocą TEST FIS poprawność wykonanego treningu, który wyszedł pozytywnie, co można zaobserwować na poniższym wykresie.



Rys. 10. Test FIS Neuro-Fuzzy Designer'a programu MATLAB.

Algorytm po poprawnie przeprowadzonym treningu podzielił zakres zmiennych na 12 zbiorów rozmytych funkcji Gaussa. Następnie za pomocą Rule Viewer'a przy narzuconych wartościach wyjściowych przeprowadzono proces wnioskowania w celu sprawdzenia, czy uzyskane wyniki są poprawne i mają swoje odzwierciedlanie w rzeczywistości.

## 7. Wnioskowanie rozmyte – opis scenariuszy wnioskowania

Poniżej przedstawiono trzy scenariusze wnioskowania dla stworzonego modelu Abalone za pomocą którego możliwe jest wyznaczenie wieku skorupiaka.

- **Scenariusz wnioskowania dla abalone1:**

Dane wejściowe:

*Length* = 0.505 mm (input1);

*Diameter* = 0.4075 mm (input2);

*Shucked weight* = 0.3427 g (input3);

*Shell weight* = 0.2575 g (input4);

Wartość *Length* = 0.505 mm zawarta jest w zbiorze rozmytym Medium, *Diameter* = 0.4075 mm w Medium, *Shucked weight* = 0.3427 g w Medium oraz *Shell weight* = 0.2575 g w Medium. Regułą logiczną, która zostaje spełniona przy tych zmiennych jest reguła nr 41 na liście w pkt 3. Następująca reguła brzmi:

*If (Length is medium) and (Diameter is medium) and (Shucked\_weight is medium) and (Shell\_weight is medium) then (Rings id out1mf41) (1)*

Zmienna *Rings* określona jest zakresem [7, 15] i punktem przegięcia  $a = 14.46$ . Jest funkcją stałą.

Wynik stworzonego modelu za pomocą algorytmu ANFIS:

input1 = 0.505

input2 = 0.408

input3 = 0.343

input4 = 0.258

output = 12.5

Słuchotka o długości ciała równej 0.505 mm, średnicy – 0.4075 mm, masie mięsa wynoszącej 0.3427g i muszli – 0.2575g, posiada 12,5 pierścieni ma muszli. Wg literatury do liczby pierścieni należy dodać 1,5 w celu poprawnego oszacowania wieku skorupiaka. Wiek zwierzęcia zatem to **14 lat**.

- **Scenariusz wnioskowania dla abalone2:**

Dane wejściowe:

*Length* = 0.55 mm (input1);

*Diameter* = 0.45 mm (input2);

*Shucked weight* = 0.38 g (input3);

*Shell weight* = 0.46 g (input4);

Regułami logicznymi, które zostają spełnione przy tych zmiennych w różnym stopniu brzmią następująco:

41. *If (Length is medium) and (Diameter is medium) and (Shucked\_weight is medium) and (Shell\_weight is medium) then (Rings id out1mf41) (1)*

42. *If (Lenth is medium) and (Diameter is medium) and (Shucked\_weight is medium) and (Shell\_weight is large) then (Rings is out1mf42) (1)* (**reguła spełniona w największym stopniu przynależności**)

45. *If (Lenth is medium) and (Diameter is medium) and (Shucked\_weight is large) and (Shell\_weight is large) then (Rings is out1mf45) (1)*

51. *If (Lenth is medium) and (Diameter is large) and (Shucked\_weight is medium) and (Shell\_weight is large) then (Rings is out1mf51) (1)*

69. . If (Lenth is long) and (Diameter is medium) and (Shucked\_weight is medium) and (Shell\_weight is large) then (Rings is out1mf69) (1)

Zmienna *Rings* określona jest zakresem [7, 15] i jest funkcją stałą.

Wynik stworzonego modelu za pomocą algorytmu ANFIS:

input1 = 0.55	input2 = 0.45	input3 = 0.38	input4 = 0.46	output = 20.7
---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

Słuchotka o długości ciała równej 0.55 mm, średnicy – 0.45 mm, masie mięsa wynoszącej 0.38g i muszli – 0.46g, posiada 20,7 pierścieni ma muszli. Wg literatury do liczby pierścieni należy dodać 1,5 w celu poprawnego oszacowania wieku skorupiaka. Wiek zwierzęcia zatem to ponad **22 lat**.

- **Scenariusz wnioskowania dla abalone3:**

Dane wejściowe:

*Length* = 0.35 mm (input1);

*Diameter* = 0.29 mm (input2);

*Shucked weight* = 0.31 g (input3);

*Shell weight* = 0.28 g (input4);

Regułami logicznymi, które zostają spełnione przy tych zmiennych w różnym stopniu brzmią następująco:

14. If (*Length* is short) and (*Diameter* is medium) and (*Shucked\_weight* is medium) and (*Shell\_weight* is medium) then (*Rings* id out1mf14) (1)

Zmienna *Rings* określona jest zakresem [7, 15] i jest funkcją stałą.

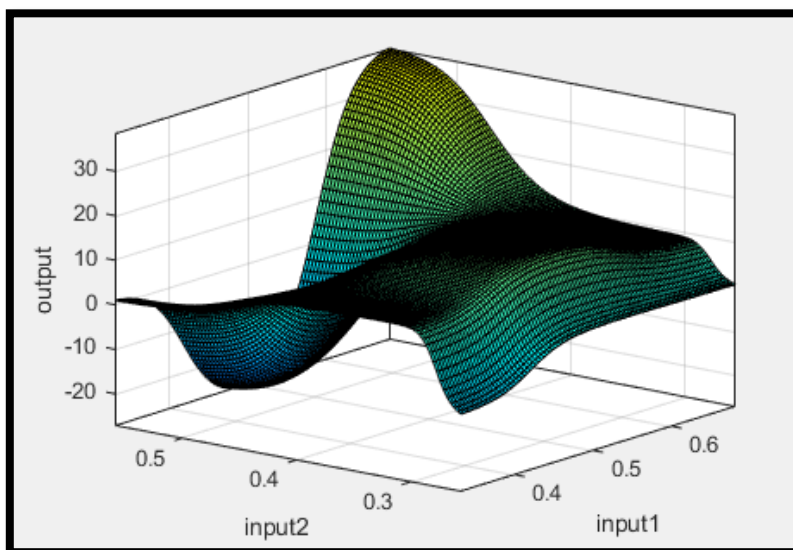
Wynik stworzonego modelu za pomocą algorytmu ANFIS:

input1 = 0.35	input2 = 0.29	input3 = 0.31	input4 = 0.28	output = 5.11
---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

Słuchotka o długości ciała równej 0.35 mm, średnicy – 0.29 mm, masie mięsa wynoszącej 0.31g i muszli – 0.28g, posiada 20,7 pierścieni ma muszli. Wg literatury do liczby pierścieni należy dodać 1,5 w celu poprawnego oszacowania wieku skorupiaka. Wiek zwierzęcia zatem to ponad **6 lat i 6 miesięcy**.

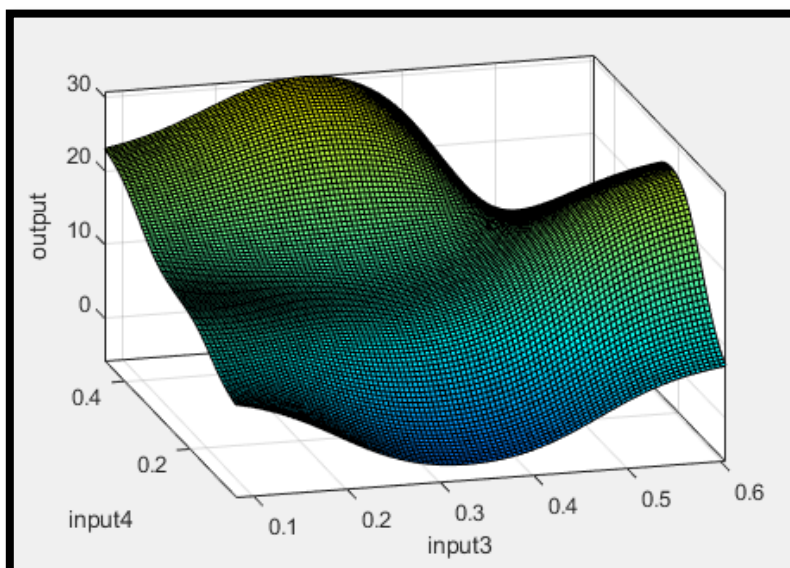
- **Modul Surface:**

Przedstawiono poniżej wyniki Surface dla modelu Abalone. Zestawiono na trzech wykresach cztery zmienne wejściowe użyte do stworzenia modelu dla obliczenia wieku Abalone w następujących parach, tj. *Length* i *Diameter*, *Shucked weight* i *Shell weight*, *Length* i *Shell weight*.



Rys. 11. Wykres zestawienia zmiennej *Length*, *Diameter* i *Rings*.

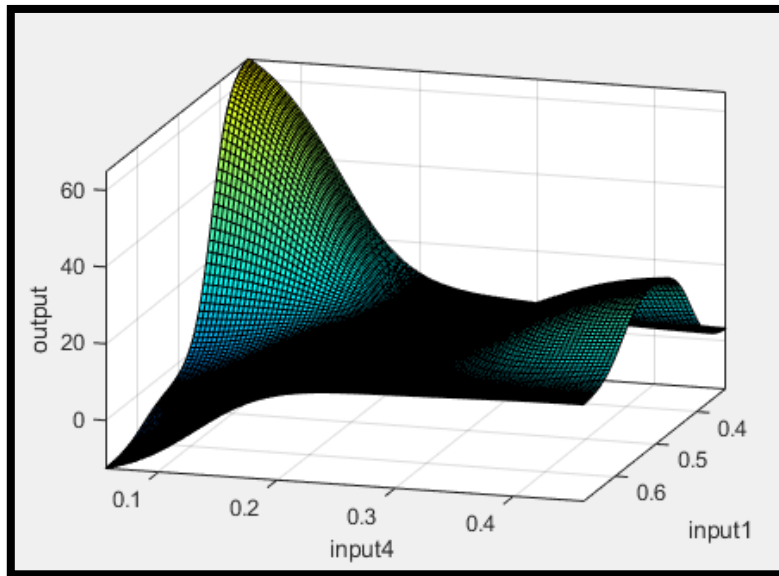
Na podstawie powyższego wykresu Surface można zaobserwować, że duże wartości długości ciała skorupki jak i średnicy oznaczają, że najprawdopodobniej można przypuszczać, że ma się do czynienia ze starszymi osobnikami. Dodatkowo można zauważyć dużą korelację tych dwóch cech ze sobą.



Rys. 12. Wykres zestawienia zmiennej *Shucked weight*, *Shell weight* i *Rings*.

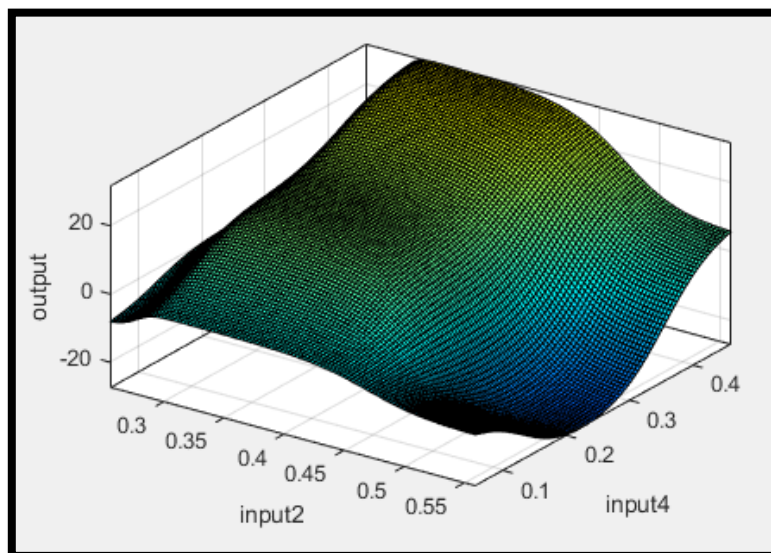
Przy zestawieniu masy mięsa i muszli skorupki z ilością pierścieni, można powiedzieć, że średniej wagi muszla z dużą masą mięsa skorupki najprawdopodobniej oznacza osobnika starszego. Natomiast średniej masy muszla o małej masie mięsa oznacza młodą słuchotkę. Można pokusić się o stwierdzenie, że masa muszli w ciągu życia skorupki zwiększa się w mniejszym stopniu niż masa mięsa.





Rys. 13. Wykres zestawienia zmiennej *Length*, *Shell weight* i *Rings*.

Przy zestawieniu długości ciała z masą muszli można zauważyć, że mała masa muszli i duża wartość długości ciała oznacza najczęściej osobnika starszego od reszty populacji. Można zauważyć również, że osobniki o średniej długości ciała i dużej masie muszli również mogą być najstarsze o czym świadczy, wzrost wartości *Rings* przy tych parametrach.



Rys. 14. Wykres zestawienia zmiennej *Diameter*, *Shell weight* i *Rings*.

Na końcu zestawiono również średnice ciała *Abalone* z jego masą muszli. Powyższy wykres modułu *Surface* pokazał, że najstarsze osobniki będą się charakteryzowały dużą masą muszli i średnią wartością zmiennej *Diameter*. Natomiast młode małą – średnią średnicą muszli i małą – średnią masą muszli.

Po trzech przeprowadzonych procesach wnioskowania i analizie wykresów modułu *Surface* można powiedzieć śmiało, że za pomocą algorytmu ANFIS uzyskano wyniki jak najbardziej poprawne, które mają swoje odzwierciedlenie w przyrodzie.

## 8. Podsumowanie i wnioski

Na podstawie stworzonego projektu można stwierdzić, że udało się zbudować model w oparciu o algorytm ANFIS, którego zadaniem było określenie wieku osobników Abalone na podstawie podanych właściwości fizycznych tj. długość ciała, średnica ciała, masa mięsa, masa muszli. Aplikacja działa także, że należy jej podać cztery zmierzone zmienne osobnika, a następnie określa ilość pierścieni na muszli osobnika. Jak wspomniano wcześniej, liczba pierścieni odpowiada mniej więcej wieku skorupiaków. Aby wynik był dokładniejszy do liczby pierścieni należy dodać 1.5 roku.

Model Abalone mógłby znaleźć zastosowanie w handlu oraz hodowli słuchotek na całym świecie w celu określenia ceny, ponieważ jest on zależna od wieku danego osobnika. Zastosowanie aplikacji jest dużo lepsze i wygodniejsze oraz szybsze od tradycyjnej metody z użyciem mikroskopu, z którą wiąże się też uśmiercanie osobników poprzez nacinanie i wybarwianie ich.

Widoczne jest również zastosowanie dla modelu w instytucjach zajmujących się badaniem i ochroną tych zwierząt przed kłusownictwem w celu określenia średniego wieku populacji lub prowadzenia statystyk. Aktualnie bardzo dużo naturalnie żyjących osobników jest wyławiana i sprzedawana w celu ich spożycia lub użyciu ich pięknych muszel do wyrobu biżuterii.

Powstała aplikacja jest podstawowa i stworzona z małą ilością rekordów bazy danych oraz mniejszą ilością zmiennych lingwistycznych. Najprawdopodobniej lepsze wyniki można by było uzyskać za pomocą drzew decyzyjnych lub analizy skupień przy pomocy języka R lub Pythona, gdzie byłoby możliwe zaimportowanie całej bazy danych do modelu w celu jego uczenia. Dodatkowo analiza wyników również byłaby prostsza niż w przypadku algorytmu ANFIS, który z dużą ilością zmiennych na wejściu buduje dużo reguł logicznych i skomplikowaną sieć, co jest trudniejsze w interpretacji wyników.

## 9. Literatura

- [1] <https://www.mathworks.com/products/fuzzy-logic.html> [dostęp: 10.06.2020r.]
- [2] <https://medium.com/@ryotennis0503/analysis-of-abalone-age-9851efa5e105> [dostęp: 10.06.2020r.]
- [3] [https://www.researchgate.net/publication/337146276\\_Machine\\_Learning\\_Project\\_-\\_Predict\\_the\\_Age\\_of\\_Abalone](https://www.researchgate.net/publication/337146276_Machine_Learning_Project_-_Predict_the_Age_of_Abalone) [dostęp: 12.06.2020r.]
- [4] <https://pl.wikipedia.org/wiki/S%C5%82uchotki> [dostęp: 10.06.2020r.]