

Raport z realizacji projektu

| | | | | |
|-------------------------------|--|--------------------------|---|--|
| Nazwa przedmiotu: | | | | |
| Systemy Inteligentne 2 | | | | |
| Projekt nr: 1 | Autor (nazwisko i imię): Szymkiewicz Artur | | | Ocena: |
| | Grupa laboratoryjna: 3ID12A | Stanowisko: 17 | Data wykonania projektu: 12-11-2024 | Data oddania raportu: 13-11-2024 |

Temat: Projekt i realizacja systemu klasyfikującego dane dwuwymiarowe, liniowo separowalne, z wykorzystaniem sztucznej sieci neuronowej.

Cel: Celem projektu jest skonstruowanie klasyfikatora danych dwuwymiarowych, liniowo separowalnych, z wykorzystaniem sztucznej sieci neuronowej (tzw. perceptronu wielowarstwowego) oraz przeprowadzenie testów funkcjonowania systemu.

Szczegółowy zakres zadań:

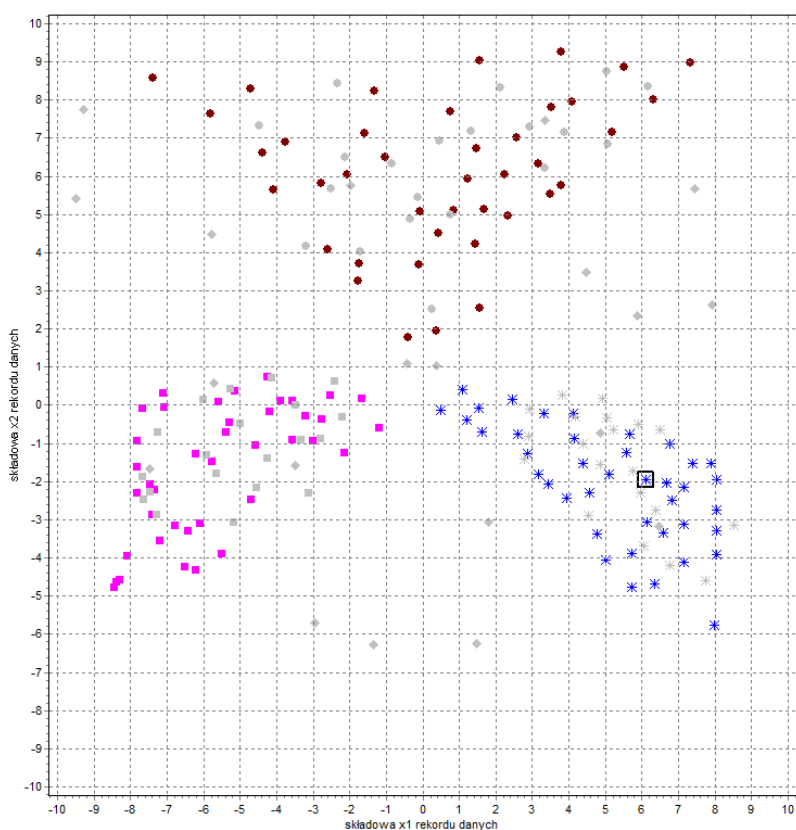
- Utworzyć trzy zbiory danych pierwotnych: uczących, testowych i weryfikujących (dane należące do poszczególnych klas rozmieścić na płaszczyźnie wg wskazówek prowadzącego zajęcia).
Parametry zadania:
 - typ zbiorów: dane dwuwymiarowe, liniowo separowalne,
 - liczba klas: 3 (nie dotyczy danych weryfikujących),
 - liczba próbek danych uczących/testowych na klasę: dobrać wg uznania w proporcji 2/1 (rozważać zrównoważone zbiory danych, tj. z jednakową liczbą próbek na klasę).
- Przeprowadzić proces wstępnego przetwarzania zbiorów danych pierwotnych z pkt. 1 do zbiorów danych numerycznych.
Parametry zadania:
 - kodowanie atrybutu klasy: kod 1 z N,
 - skalowanie danych: brak.
- Zaprojektować 4 struktury sieci neuronowych, odpowiednie do przetwarzania danych numerycznych z pkt. 2 (rozważyć wszystkie możliwe przypadki przedstawione w parametrach zadania).
Parametry zadania:
 - liczba warstw ukrytych: 0 lub 1 (liczba neuronów w warstwie ukrytej: dobrać wg uznania),
 - funkcja aktywacji neuronów: dyskretna (funkcja skoku jednostkowego) lub ciągła (funkcja sigmoidalna); wejście BIAS: włączone.
- Przeprowadzić procesy uczenia sieci neuronowych z pkt. 3.
Parametry zadania:
 - algorytm uczenia: reguła perceptronowa lub algorytm wstecznej propagacji błędów (rozważyć w zależności od rodzaju zastosowanej funkcji aktywacji neuronów),
 - współczynnik uczenia: dobrać wg uznania (np. 0.2, 0.5, 0.8),
 - współczynnik momentu: brak lub dobrać wg uznania (np. 0.9; rozważyć oba przypadki),
 - warunek zakończenia procesu uczenia: po upływie określonej z góry liczby epok (liczbę epok dobrać wg uznania niezależnie dla każdej serii eksperymentów, np. 100; tolerancja uczenia: 0.1, tolerancja testowania: 0.3),
 - inicjacja początkowych wektorów wagowych sieci: losowanie z przedziału $[-0.5, 0.5]$,
 - losowa kolejność podawania próbek danych uczących na wejścia sieci: włączone lub wyłączone (rozważyć oba przypadki),
 - aktualizacja wag sieci tylko po zakończeniu każdej epoki uczenia: włączone lub wyłączone (rozważyć oba przypadki).

Przeprowadzić analizę porównawczą procesów uczenia oraz wskazać, która konfiguracja procesu uczenia jest najlepsza i dlaczego. W przypadku sieci neuronowej dwuwarstwowej z dyskretnymi funkcjami aktywacji dokonać manualnego doboru wag sieci neuronowej.
- Analiza najlepszego procesu uczenia sieci neuronowej z ciągłymi funkcjami aktywacji z pkt 4, dla różnych zadanych tolerancji uczenia.
Parametry zadania takie jak w pkt. 4 z wyjątkiem:
 - warunek zakończenia procesu uczenia: gdy dla danych uczących sieć osiągnie określoną liczbę poprawnych odpowiedzi (sieć z dyskretnymi funkcjami aktywacji) lub odpowiedzi mieszczących się w zadanej z góry tolerancji (sieć z ciągłymi funkcjami aktywacji) (liczba odpowiedzi: 50%, 60%, 70%, 80%, 90% i 100%, tolerancja uczenia/testowania: 0.4/0.4, 0.3/0.3, 0.2/0.2 i 0.1/0.2),
 - aktualizacja wag sieci tylko po zakończeniu każdej epoki uczenia: wyłączone.
- Analiza funkcjonowania najlepszego systemu z pkt 5.
- Przedstawić wnioski z realizacji projektu.

Ad. 1. Tworzenie dwóch zbiorów danych pierwotnych: uczących i testowych.

Tabela 1. Zbiór pierwotnych danych uczących (120 próbek danych)

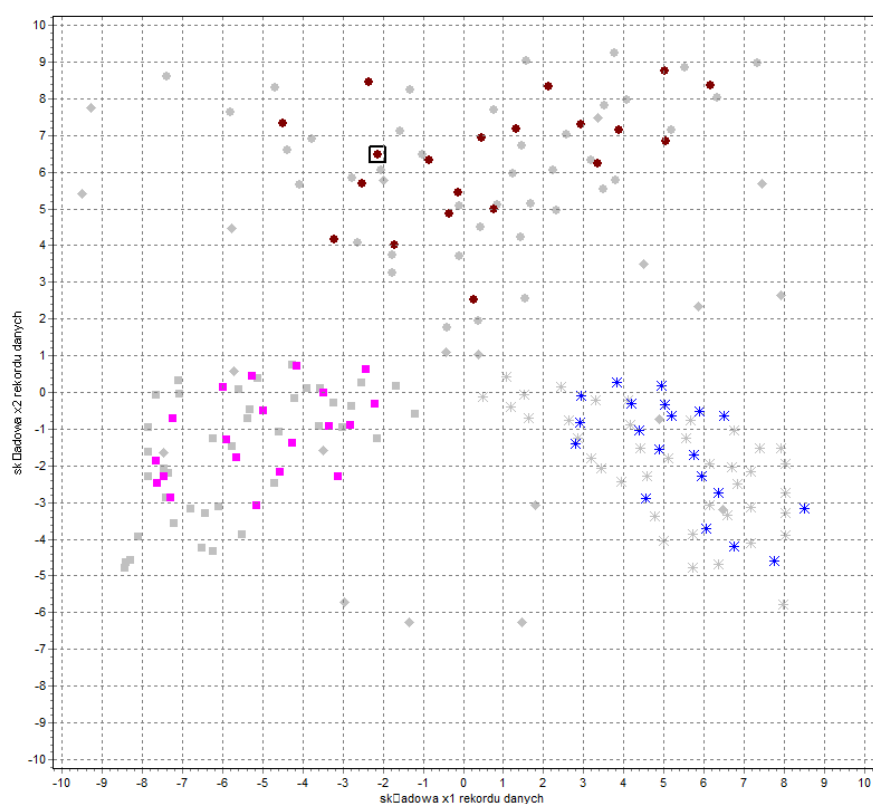
| Lp. | x1 | x2 | Klasa | Lp. | x1 | x2 | Klasa | Lp. | x1 | x2 | Klasa | Lp. | x1 | x2 | Klasa |
|-----|-------|------|-------|-----|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|
| 1 | -7,38 | 8,59 | 1 | 31 | -0,10 | 3,69 | 1 | 61 | 6,14 | -3,06 | 2 | 91 | -3,23 | -0,27 | 3 |
| 2 | -5,80 | 7,63 | 1 | 32 | 0,44 | 4,50 | 1 | 62 | 6,12 | -1,95 | 2 | 92 | -2,78 | -0,36 | 3 |
| 3 | -4,70 | 8,29 | 1 | 33 | 1,68 | 5,14 | 1 | 63 | 5,56 | -1,23 | 2 | 93 | -4,26 | 0,75 | 3 |
| 4 | -2,76 | 5,83 | 1 | 34 | 2,24 | 6,04 | 1 | 64 | 4,11 | -0,21 | 2 | 94 | -5,15 | 0,39 | 3 |
| 5 | -1,75 | 3,72 | 1 | 35 | 3,18 | 6,34 | 1 | 65 | 4,15 | -0,87 | 2 | 95 | -5,61 | 0,09 | 3 |
| 6 | 1,43 | 4,23 | 1 | 36 | 6,33 | 8,02 | 1 | 66 | 4,40 | -1,53 | 2 | 96 | -5,31 | -0,45 | 3 |
| 7 | 1,55 | 2,55 | 1 | 37 | 7,32 | 8,98 | 1 | 67 | 4,56 | -2,28 | 2 | 97 | -4,60 | -1,05 | 3 |
| 8 | 0,38 | 1,95 | 1 | 38 | 5,52 | 8,86 | 1 | 68 | 4,77 | -3,36 | 2 | 98 | -4,71 | -2,46 | 3 |
| 9 | -0,40 | 1,77 | 1 | 39 | 3,78 | 9,25 | 1 | 69 | 5,00 | -4,05 | 2 | 99 | -6,10 | -3,09 | 3 |
| 10 | -0,08 | 5,08 | 1 | 40 | 1,57 | 9,04 | 1 | 70 | 5,73 | -3,87 | 2 | 100 | -6,44 | -3,27 | 3 |
| 11 | 1,47 | 6,73 | 1 | 41 | 0,50 | -0,12 | 2 | 71 | 6,57 | -3,33 | 2 | 101 | -6,79 | -3,15 | 3 |
| 12 | 2,58 | 7,03 | 1 | 42 | 1,08 | 0,42 | 2 | 72 | 6,83 | -2,49 | 2 | 102 | -7,36 | -2,19 | 3 |
| 13 | 0,76 | 7,69 | 1 | 43 | 1,53 | -0,06 | 2 | 73 | 6,68 | -2,04 | 2 | 103 | -7,47 | -2,07 | 3 |
| 14 | -1,32 | 8,23 | 1 | 44 | 1,62 | -0,69 | 2 | 74 | 7,39 | -1,53 | 2 | 104 | -7,41 | -2,85 | 3 |
| 15 | -1,58 | 7,12 | 1 | 45 | 3,31 | -0,21 | 2 | 75 | 7,90 | -1,53 | 2 | 105 | -7,21 | -3,54 | 3 |
| 16 | 1,25 | 5,95 | 1 | 46 | 1,19 | -0,39 | 2 | 76 | 8,03 | -1,95 | 2 | 106 | -6,51 | -4,23 | 3 |
| 17 | 3,51 | 7,81 | 1 | 47 | 2,45 | 0,15 | 2 | 77 | 8,03 | -2,73 | 2 | 107 | -6,23 | -4,32 | 3 |
| 18 | 4,08 | 7,96 | 1 | 48 | 2,61 | -0,75 | 2 | 78 | 8,03 | -3,27 | 2 | 108 | -5,52 | -3,87 | 3 |
| 19 | 5,18 | 7,15 | 1 | 49 | 2,86 | -1,26 | 2 | 79 | 8,03 | -3,90 | 2 | 109 | -5,78 | -1,47 | 3 |
| 20 | 3,80 | 5,77 | 1 | 50 | 3,18 | -1,80 | 2 | 80 | 7,98 | -5,77 | 2 | 110 | -6,23 | -1,26 | 3 |
| 21 | 3,50 | 5,53 | 1 | 51 | 3,44 | -2,07 | 2 | 81 | -2,54 | 0,27 | 3 | 111 | -7,08 | -0,03 | 3 |
| 22 | 2,33 | 4,95 | 1 | 52 | 3,93 | -2,43 | 2 | 82 | -1,68 | 0,18 | 3 | 112 | -7,11 | 0,33 | 3 |
| 23 | 0,85 | 5,11 | 1 | 53 | 5,11 | -1,80 | 2 | 83 | -1,21 | -0,57 | 3 | 113 | -7,68 | -0,06 | 3 |
| 24 | -1,02 | 6,49 | 1 | 54 | 5,65 | -0,75 | 2 | 84 | -2,15 | -1,23 | 3 | 114 | -7,84 | -0,93 | 3 |
| 25 | -2,05 | 6,04 | 1 | 55 | 6,76 | -1,02 | 2 | 85 | -3,03 | -0,93 | 3 | 115 | -7,84 | -1,62 | 3 |
| 26 | -3,76 | 6,91 | 1 | 56 | 7,15 | -2,16 | 2 | 86 | -3,59 | -0,90 | 3 | 116 | -7,84 | -2,28 | 3 |
| 27 | -4,38 | 6,61 | 1 | 57 | 7,15 | -3,12 | 2 | 87 | -5,39 | -0,69 | 3 | 117 | -8,11 | -3,93 | 3 |
| 28 | -4,08 | 5,65 | 1 | 58 | 7,15 | -4,11 | 2 | 88 | -4,21 | -0,15 | 3 | 118 | -8,29 | -4,56 | 3 |
| 29 | -2,61 | 4,08 | 1 | 59 | 6,34 | -4,68 | 2 | 89 | -3,91 | 0,12 | 3 | 119 | -8,41 | -4,62 | 3 |
| 30 | -1,77 | 3,24 | 1 | 60 | 5,71 | -4,77 | 2 | 90 | -3,57 | 0,12 | 3 | 120 | -8,44 | -4,77 | 3 |



Rys. 1. Postać graficzna zbioru pierwotnych danych uczących z tabeli 1 (kolorowe punkty) i zbioru pierwotnych danych testowych z tabeli 2 (szare punkty)

Tabela 2. Zbiór pierwotnych danych testowych (60 próbek danych)

| Lp. | x1 | x2 | Klasa | Lp. | x1 | x2 | Klasa | Lp. | x1 | x2 | Klasa | Lp. | x1 | x2 | Klasa |
|-----|-------|------|-------|-----|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|
| 1 | 0,26 | 2,52 | 1 | 16 | 3,87 | 7,15 | 1 | 31 | 6,06 | -3,69 | 2 | 46 | -4,26 | -1,38 | 3 |
| 2 | -0,35 | 4,86 | 1 | 17 | 0,46 | 6,94 | 1 | 32 | 8,50 | -3,15 | 2 | 47 | -5,67 | -1,77 | 3 |
| 3 | -2,51 | 5,68 | 1 | 18 | 0,76 | 4,98 | 1 | 33 | 7,75 | -4,59 | 2 | 48 | -7,25 | -0,69 | 3 |
| 4 | -2,12 | 6,49 | 1 | 19 | -0,12 | 5,44 | 1 | 34 | 6,75 | -4,20 | 2 | 49 | -7,67 | -1,86 | 3 |
| 5 | -1,71 | 4,02 | 1 | 20 | -0,85 | 6,34 | 1 | 35 | 6,37 | -2,73 | 2 | 50 | -7,31 | -2,85 | 3 |
| 6 | -3,20 | 4,17 | 1 | 21 | 6,50 | -0,63 | 2 | 36 | 5,76 | -1,71 | 2 | 51 | -7,65 | -2,47 | 3 |
| 7 | -4,48 | 7,33 | 1 | 22 | 3,81 | 0,27 | 2 | 37 | 4,87 | -1,56 | 2 | 52 | -7,47 | -2,27 | 3 |
| 8 | -2,34 | 8,44 | 1 | 23 | 2,90 | -0,81 | 2 | 38 | 5,20 | -0,63 | 2 | 53 | -4,56 | -2,16 | 3 |
| 9 | 2,93 | 7,30 | 1 | 24 | 5,95 | -2,28 | 2 | 39 | 5,03 | -0,33 | 2 | 54 | -5,17 | -3,06 | 3 |
| 10 | 5,06 | 6,85 | 1 | 25 | 5,89 | -0,51 | 2 | 40 | 4,17 | -0,30 | 2 | 55 | -5,92 | -1,29 | 3 |
| 11 | 3,34 | 6,22 | 1 | 26 | 4,92 | 0,18 | 2 | 41 | -3,34 | -0,90 | 3 | 56 | -6,01 | 0,15 | 3 |
| 12 | 1,32 | 7,18 | 1 | 27 | 4,37 | -1,02 | 2 | 42 | -5,01 | -0,48 | 3 | 57 | -5,28 | 0,45 | 3 |
| 13 | 2,12 | 8,32 | 1 | 28 | 2,93 | -0,09 | 2 | 43 | -4,15 | 0,72 | 3 | 58 | -3,48 | 0,00 | 3 |
| 14 | 5,03 | 8,74 | 1 | 29 | 2,79 | -1,41 | 2 | 44 | -2,43 | 0,63 | 3 | 59 | -2,82 | -0,87 | 3 |
| 15 | 6,17 | 8,35 | 1 | 30 | 4,54 | -2,88 | 2 | 45 | -2,21 | -0,30 | 3 | 60 | -3,12 | -2,28 | 3 |



Rys. 2. Postać graficzna zbioru pierwotnych danych testowych z tabeli 2 (kolorowe punkty) i zbioru pierwotnych danych uczących z tabeli 1 (szare punkty)

Ad. 2. Proces wstępnego przetwarzania zbiorów danych pierwotnych do zbiorów danych numerycznych.

Tabela 3. Zbiory pierwotnych i numerycznych danych uczących – wariant bez skalowania danych

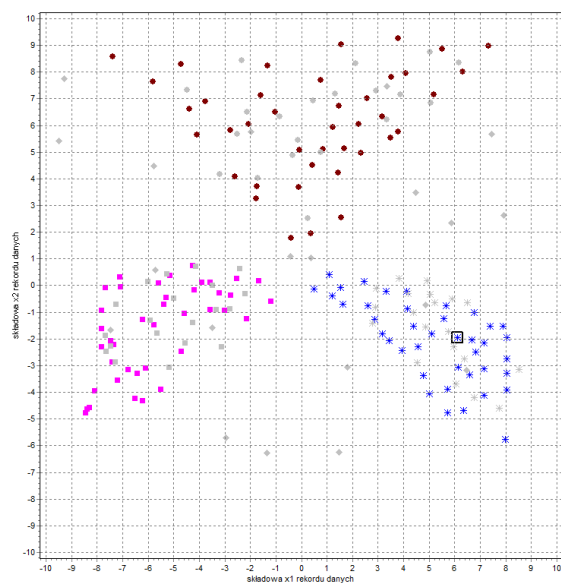
| Lp. | Zbiór danych pierwotnych | | | Zbiór danych numerycznych | | | | | |
|-----|--------------------------|-------|-------|---------------------------|-------|--------------------|---|---|--|
| | x1 | x2 | Klasa | Atrybuty wejściowe | | Atrybuty wyjściowe | | | |
| 1 | -7,38 | 8,59 | 1 | -7,38 | 8,59 | 1 | 0 | 0 | |
| 2 | -5,80 | 7,63 | 1 | -5,80 | 7,63 | 1 | 0 | 0 | |
| 3 | -4,70 | 8,29 | 1 | -4,70 | 8,29 | 1 | 0 | 0 | |
| 4 | -2,76 | 5,83 | 1 | -2,76 | 5,83 | 1 | 0 | 0 | |
| 5 | -1,75 | 3,72 | 1 | -1,75 | 3,72 | 1 | 0 | 0 | |
| 6 | 1,43 | 4,23 | 1 | 1,43 | 4,23 | 1 | 0 | 0 | |
| 7 | 1,55 | 2,55 | 1 | 1,55 | 2,55 | 1 | 0 | 0 | |
| 8 | 0,38 | 1,95 | 1 | 0,38 | 1,95 | 1 | 0 | 0 | |
| 9 | -0,40 | 1,77 | 1 | -0,40 | 1,77 | 1 | 0 | 0 | |
| 10 | -0,08 | 5,08 | 1 | -0,08 | 5,08 | 1 | 0 | 0 | |
| 11 | 1,47 | 6,73 | 1 | 1,47 | 6,73 | 1 | 0 | 0 | |
| 12 | 2,58 | 7,03 | 1 | 2,58 | 7,03 | 1 | 0 | 0 | |
| 13 | 0,76 | 7,69 | 1 | 0,76 | 7,69 | 1 | 0 | 0 | |
| 14 | -1,32 | 8,23 | 1 | -1,32 | 8,23 | 1 | 0 | 0 | |
| 15 | -1,58 | 7,12 | 1 | -1,58 | 7,12 | 1 | 0 | 0 | |
| 16 | 1,25 | 5,95 | 1 | 1,25 | 5,95 | 1 | 0 | 0 | |
| 17 | 3,51 | 7,81 | 1 | 3,51 | 7,81 | 1 | 0 | 0 | |
| 18 | 4,08 | 7,96 | 1 | 4,08 | 7,96 | 1 | 0 | 0 | |
| 19 | 5,18 | 7,15 | 1 | 5,18 | 7,15 | 1 | 0 | 0 | |
| 20 | 3,80 | 5,77 | 1 | 3,80 | 5,77 | 1 | 0 | 0 | |
| 21 | 3,50 | 5,53 | 1 | 3,50 | 5,53 | 1 | 0 | 0 | |
| 22 | 2,33 | 4,95 | 1 | 2,33 | 4,95 | 1 | 0 | 0 | |
| 23 | 0,85 | 5,11 | 1 | 0,85 | 5,11 | 1 | 0 | 0 | |
| 24 | -1,02 | 6,49 | 1 | -1,02 | 6,49 | 1 | 0 | 0 | |
| 25 | -2,05 | 6,04 | 1 | -2,05 | 6,04 | 1 | 0 | 0 | |
| 26 | -3,76 | 6,91 | 1 | -3,76 | 6,91 | 1 | 0 | 0 | |
| 27 | -4,38 | 6,61 | 1 | -4,38 | 6,61 | 1 | 0 | 0 | |
| 28 | -4,08 | 5,65 | 1 | -4,08 | 5,65 | 1 | 0 | 0 | |
| 29 | -2,61 | 4,08 | 1 | -2,61 | 4,08 | 1 | 0 | 0 | |
| 30 | -1,77 | 3,24 | 1 | -1,77 | 3,24 | 1 | 0 | 0 | |
| 31 | -0,10 | 3,69 | 1 | -0,10 | 3,69 | 1 | 0 | 0 | |
| 32 | 0,44 | 4,50 | 1 | 0,44 | 4,50 | 1 | 0 | 0 | |
| 33 | 1,68 | 5,14 | 1 | 1,68 | 5,14 | 1 | 0 | 0 | |
| 34 | 2,24 | 6,04 | 1 | 2,24 | 6,04 | 1 | 0 | 0 | |
| 35 | 3,18 | 6,34 | 1 | 3,18 | 6,34 | 1 | 0 | 0 | |
| 36 | 6,33 | 8,02 | 1 | 6,33 | 8,02 | 1 | 0 | 0 | |
| 37 | 7,32 | 8,98 | 1 | 7,32 | 8,98 | 1 | 0 | 0 | |
| 38 | 5,52 | 8,86 | 1 | 5,52 | 8,86 | 1 | 0 | 0 | |
| 39 | 3,78 | 9,25 | 1 | 3,78 | 9,25 | 1 | 0 | 0 | |
| 40 | 1,57 | 9,04 | 1 | 1,57 | 9,04 | 1 | 0 | 0 | |
| 41 | 0,50 | -0,12 | 2 | 0,50 | -0,12 | 0 | 1 | 0 | |
| 42 | 1,08 | 0,42 | 2 | 1,08 | 0,42 | 0 | 1 | 0 | |
| 43 | 1,53 | -0,06 | 2 | 1,53 | -0,06 | 0 | 1 | 0 | |
| 44 | 1,62 | -0,69 | 2 | 1,62 | -0,69 | 0 | 1 | 0 | |
| 45 | 3,31 | -0,21 | 2 | 3,31 | -0,21 | 0 | 1 | 0 | |
| 46 | 1,19 | -0,39 | 2 | 1,19 | -0,39 | 0 | 1 | 0 | |
| 47 | 2,45 | 0,15 | 2 | 2,45 | 0,15 | 0 | 1 | 0 | |
| 48 | 2,61 | -0,75 | 2 | 2,61 | -0,75 | 0 | 1 | 0 | |
| 49 | 2,86 | -1,26 | 2 | 2,86 | -1,26 | 0 | 1 | 0 | |
| 50 | 3,18 | -1,80 | 2 | 3,18 | -1,80 | 0 | 1 | 0 | |
| 51 | 3,44 | -2,07 | 2 | 3,44 | -2,07 | 0 | 1 | 0 | |
| 52 | 3,93 | -2,43 | 2 | 3,93 | -2,43 | 0 | 1 | 0 | |
| 53 | 5,11 | -1,80 | 2 | 5,11 | -1,80 | 0 | 1 | 0 | |
| 54 | 5,65 | -0,75 | 2 | 5,65 | -0,75 | 0 | 1 | 0 | |
| 55 | 6,76 | -1,02 | 2 | 6,76 | -1,02 | 0 | 1 | 0 | |
| 56 | 7,15 | -2,16 | 2 | 7,15 | -2,16 | 0 | 1 | 0 | |
| 57 | 7,15 | -3,12 | 2 | 7,15 | -3,12 | 0 | 1 | 0 | |
| 58 | 7,15 | -4,11 | 2 | 7,15 | -4,11 | 0 | 1 | 0 | |
| 59 | 6,34 | -4,68 | 2 | 6,34 | -4,68 | 0 | 1 | 0 | |
| 60 | 5,71 | -4,77 | 2 | 5,71 | -4,77 | 0 | 1 | 0 | |
| 61 | 6,14 | -3,06 | 2 | 6,14 | -3,06 | 0 | 1 | 0 | |
| 62 | 6,12 | -1,95 | 2 | 6,12 | -1,95 | 0 | 1 | 0 | |
| 63 | 5,56 | -1,23 | 2 | 5,56 | -1,23 | 0 | 1 | 0 | |
| 64 | 4,11 | -0,21 | 2 | 4,11 | -0,21 | 0 | 1 | 0 | |
| 65 | 4,15 | -0,87 | 2 | 4,15 | -0,87 | 0 | 1 | 0 | |
| 66 | 4,40 | -1,53 | 2 | 4,40 | -1,53 | 0 | 1 | 0 | |
| 67 | 4,56 | -2,28 | 2 | 4,56 | -2,28 | 0 | 1 | 0 | |
| 68 | 4,77 | -3,36 | 2 | 4,77 | -3,36 | 0 | 1 | 0 | |
| 69 | 5,00 | -4,05 | 2 | 5,00 | -4,05 | 0 | 1 | 0 | |
| 70 | 5,73 | -3,87 | 2 | 5,73 | -3,87 | 0 | 1 | 0 | |
| 71 | 6,57 | -3,33 | 2 | 6,57 | -3,33 | 0 | 1 | 0 | |
| 72 | 6,83 | -2,49 | 2 | 6,83 | -2,49 | 0 | 1 | 0 | |
| 73 | 6,68 | -2,04 | 2 | 6,68 | -2,04 | 0 | 1 | 0 | |
| 74 | 7,39 | -1,53 | 2 | 7,39 | -1,53 | 0 | 1 | 0 | |
| 75 | 7,90 | -1,53 | 2 | 7,90 | -1,53 | 0 | 1 | 0 | |
| 76 | 8,03 | -1,95 | 2 | 8,03 | -1,95 | 0 | 1 | 0 | |
| 77 | 8,03 | -2,73 | 2 | 8,03 | -2,73 | 0 | 1 | 0 | |
| 78 | 8,03 | -3,27 | 2 | 8,03 | -3,27 | 0 | 1 | 0 | |
| 79 | 8,03 | -3,90 | 2 | 8,03 | -3,90 | 0 | 1 | 0 | |
| 80 | 7,98 | -5,77 | 2 | 7,98 | -5,77 | 0 | 1 | 0 | |
| 81 | -2,54 | 0,27 | 3 | -2,54 | 0,27 | 0 | 0 | 1 | |
| 82 | -1,68 | 0,18 | 3 | -1,68 | 0,18 | 0 | 0 | 1 | |
| 83 | -1,21 | -0,57 | 3 | -1,21 | -0,57 | 0 | 0 | 1 | |
| 84 | -2,15 | -1,23 | 3 | -2,15 | -1,23 | 0 | 0 | 1 | |
| 85 | -3,03 | -0,93 | 3 | -3,03 | -0,93 | 0 | 0 | 1 | |
| 86 | -3,59 | -0,90 | 3 | -3,59 | -0,90 | 0 | 0 | 1 | |
| 87 | -5,39 | -0,69 | 3 | -5,39 | -0,69 | 0 | 0 | 1 | |
| 88 | -4,21 | -0,15 | 3 | -4,21 | -0,15 | 0 | 0 | 1 | |
| 89 | -3,91 | 0,12 | 3 | -3,91 | 0,12 | 0 | 0 | 1 | |
| 90 | -3,57 | 0,12 | 3 | -3,57 | 0,12 | 0 | 0 | 1 | |
| 91 | -3,23 | -0,27 | 3 | -3,23 | -0,27 | 0 | 0 | 1 | |
| 92 | -2,78 | -0,36 | 3 | -2,78 | -0,36 | 0 | 0 | 1 | |
| 93 | -4,26 | 0,75 | 3 | -4,26 | 0,75 | 0 | 0 | 1 | |
| 94 | -5,15 | 0,39 | 3 | -5,15 | 0,39 | 0 | 0 | 1 | |
| 95 | -5,61 | 0,09 | 3 | -5,61 | 0,09 | 0 | 0 | 1 | |
| 96 | -5,31 | -0,45 | 3 | -5,31 | -0,45 | 0 | 0 | 1 | |
| 97 | -4,60 | -1,05 | 3 | -4,60 | -1,05 | 0 | 0 | 1 | |
| 98 | -4,71 | -2,46 | 3 | -4,71 | -2,46 | 0 | 0 | 1 | |
| 99 | -6,10 | -3,09 | 3 | -6,10 | -3,09 | 0 | 0 | 1 | |
| 100 | -6,44 | -3,27 | 3 | -6,44 | -3,27 | 0 | 0 | 1 | |
| 101 | -6,79 | -3,15 | 3 | -6,79 | -3,15 | 0 | 0 | 1 | |
| 102 | -7,36 | -2,19 | 3 | -7,36 | -2,19 | 0 | 0 | 1 | |
| 103 | -7,47 | -2,07 | 3 | -7,47 | -2,07 | 0 | 0 | 1 | |
| 104 | -7,41 | -2,85 | 3 | -7,41 | -2,85 | 0 | 0 | 1 | |
| 105 | -7,21 | -3,54 | 3 | -7,21 | -3,54 | 0 | 0 | 1 | |
| 106 | -6,51 | -4,23 | 3 | -6,51 | -4,23 | 0 | 0 | 1 | |
| 107 | -6,23 | -4,32 | 3 | -6,23 | -4,32 | 0 | 0 | 1 | |
| 108 | -5,52 | -3,87 | 3 | -5,52 | -3,87 | 0 | 0 | 1 | |
| 109 | -5,78 | -1,47 | 3 | -5,78 | -1,47 | 0 | 0 | 1 | |
| 110 | -6,23 | -1,26 | 3 | -6,23 | -1,26 | 0 | 0 | 1 | |
| 111 | -7,08 | -0,03 | 3 | -7,08 | -0,03 | 0 | 0 | 1 | |
| 112 | -7,11 | 0,33 | 3 | -7,11 | 0,33 | 0 | 0 | 1 | |
| 113 | -7,68 | -0,06 | 3 | -7,68 | -0,06 | 0 | 0 | 1 | |
| 114 | -7,84 | -0,93 | 3 | -7,84 | -0,93 | 0 | 0 | 1 | |
| 115 | -7,84 | -1,62 | 3 | -7,84 | -1,62 | 0 | 0 | 1 | |
| 116 | -7,84 | -2,28 | 3 | -7,84 | -2,28 | 0 | 0 | 1 | |
| 117 | -8,11 | -3,93 | 3 | -8,11 | -3,93 | 0 | 0 | 1 | |
| 118 | -8,29 | -4,56 | 3 | -8,29 | -4,56 | 0 | 0 | 1 | |
| 119 | -8,41 | -4,62 | 3 | -8,41 | -4,62 | 0 | 0 | 1 | |
| 120 | -8,44 | -4,77 | 3 | -8,44 | -4,77 | 0 | 0 | 1 | |

Tabela 4. Zbiory pierwotnych i numerycznych danych testowych – wariant bez skalowania danych

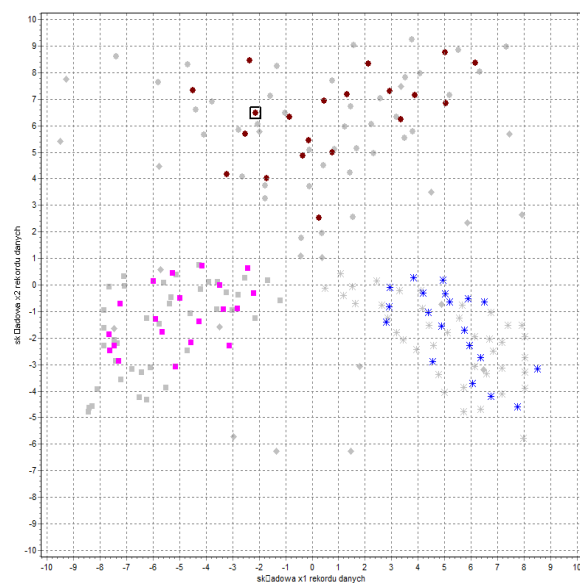
| Lp. | Zbiór danych pierwotnych | | | Zbiór danych numerycznych | | | | | |
|-----|--------------------------|-------|-------|---------------------------|-------|----|--------------------|----|--|
| | | | | Atrybuty wejściowe | | | Atrybuty wyjściowe | | |
| | x1 | x2 | Klasa | x1 | x2 | y1 | y2 | y3 | |
| 1 | 0,26 | 2,52 | 1 | 0,26 | 2,52 | 1 | 0 | 0 | |
| 2 | -0,35 | 4,86 | 1 | -0,35 | 4,86 | 1 | 0 | 0 | |
| 3 | -2,51 | 5,68 | 1 | -2,51 | 5,68 | 1 | 0 | 0 | |
| 4 | -2,12 | 6,49 | 1 | -2,12 | 6,49 | 1 | 0 | 0 | |
| 5 | -1,71 | 4,02 | 1 | -1,71 | 4,02 | 1 | 0 | 0 | |
| 6 | -3,20 | 4,17 | 1 | -3,20 | 4,17 | 1 | 0 | 0 | |
| 7 | -4,48 | 7,33 | 1 | -4,48 | 7,33 | 1 | 0 | 0 | |
| 8 | -2,34 | 8,44 | 1 | -2,34 | 8,44 | 1 | 0 | 0 | |
| 9 | 2,93 | 7,30 | 1 | 2,93 | 7,30 | 1 | 0 | 0 | |
| 10 | 5,06 | 6,85 | 1 | 5,06 | 6,85 | 1 | 0 | 0 | |
| 11 | 3,34 | 6,22 | 1 | 3,34 | 6,22 | 1 | 0 | 0 | |
| 12 | 1,32 | 7,18 | 1 | 1,32 | 7,18 | 1 | 0 | 0 | |
| 13 | 2,12 | 8,32 | 1 | 2,12 | 8,32 | 1 | 0 | 0 | |
| 14 | 5,03 | 8,74 | 1 | 5,03 | 8,74 | 1 | 0 | 0 | |
| 15 | 6,17 | 8,35 | 1 | 6,17 | 8,35 | 1 | 0 | 0 | |
| 16 | 3,87 | 7,15 | 1 | 3,87 | 7,15 | 1 | 0 | 0 | |
| 17 | 0,46 | 6,94 | 1 | 0,46 | 6,94 | 1 | 0 | 0 | |
| 18 | 0,76 | 4,98 | 1 | 0,76 | 4,98 | 1 | 0 | 0 | |
| 19 | -0,12 | 5,44 | 1 | -0,12 | 5,44 | 1 | 0 | 0 | |
| 20 | -0,85 | 6,34 | 1 | -0,85 | 6,34 | 1 | 0 | 0 | |
| 21 | 6,50 | -0,63 | 2 | 6,50 | -0,63 | 0 | 1 | 0 | |
| 22 | 3,81 | 0,27 | 2 | 3,81 | 0,27 | 0 | 1 | 0 | |
| 23 | 2,90 | -0,81 | 2 | 2,90 | -0,81 | 0 | 1 | 0 | |
| 24 | 5,95 | -2,28 | 2 | 5,95 | -2,28 | 0 | 1 | 0 | |
| 25 | 5,89 | -0,51 | 2 | 5,89 | -0,51 | 0 | 1 | 0 | |
| 26 | 4,92 | 0,18 | 2 | 4,92 | 0,18 | 0 | 1 | 0 | |
| 27 | 4,37 | -1,02 | 2 | 4,37 | -1,02 | 0 | 1 | 0 | |
| 28 | 2,93 | -0,09 | 2 | 2,93 | -0,09 | 0 | 1 | 0 | |
| 29 | 2,79 | -1,41 | 2 | 2,79 | -1,41 | 0 | 1 | 0 | |
| 30 | 4,54 | -2,88 | 2 | 4,54 | -2,88 | 0 | 1 | 0 | |

| Lp. | Zbiór danych pierwotnych | | | Zbiór danych numerycznych | | | | | |
|-----|--------------------------|-------|-------|---------------------------|-------|----|--------------------|----|--|
| | | | | Atrybuty wejściowe | | | Atrybuty wyjściowe | | |
| | x1 | x2 | Klasa | x1 | x2 | y1 | y2 | y3 | |
| 31 | 6,06 | -3,69 | 2 | 6,06 | -3,69 | 0 | 1 | 0 | |
| 32 | 8,50 | -3,15 | 2 | 8,50 | -3,15 | 0 | 1 | 0 | |
| 33 | 7,75 | -4,59 | 2 | 7,75 | -4,59 | 0 | 1 | 0 | |
| 34 | 6,75 | -4,20 | 2 | 6,75 | -4,20 | 0 | 1 | 0 | |
| 35 | 6,37 | -2,73 | 2 | 6,37 | -2,73 | 0 | 1 | 0 | |
| 36 | 5,76 | -1,71 | 2 | 5,76 | -1,71 | 0 | 1 | 0 | |
| 37 | 4,87 | -1,56 | 2 | 4,87 | -1,56 | 0 | 1 | 0 | |
| 38 | 5,20 | -0,63 | 2 | 5,20 | -0,63 | 0 | 1 | 0 | |
| 39 | 5,03 | -0,33 | 2 | 5,03 | -0,33 | 0 | 1 | 0 | |
| 40 | 4,17 | -0,30 | 2 | 4,17 | -0,30 | 0 | 1 | 0 | |
| 41 | -3,34 | -0,90 | 3 | -3,34 | -0,90 | 0 | 0 | 1 | |
| 42 | -5,01 | -0,48 | 3 | -5,01 | -0,48 | 0 | 0 | 1 | |
| 43 | -4,15 | 0,72 | 3 | -4,15 | 0,72 | 0 | 0 | 1 | |
| 44 | -2,43 | 0,63 | 3 | -2,43 | 0,63 | 0 | 0 | 1 | |
| 45 | -2,21 | -0,30 | 3 | -2,21 | -0,30 | 0 | 0 | 1 | |
| 46 | -4,26 | -1,38 | 3 | -4,26 | -1,38 | 0 | 0 | 1 | |
| 47 | -5,67 | -1,77 | 3 | -5,67 | -1,77 | 0 | 0 | 1 | |
| 48 | -7,25 | -0,69 | 3 | -7,25 | -0,69 | 0 | 0 | 1 | |
| 49 | -7,67 | -1,86 | 3 | -7,67 | -1,86 | 0 | 0 | 1 | |
| 50 | -7,31 | -2,85 | 3 | -7,31 | -2,85 | 0 | 0 | 1 | |
| 51 | -7,65 | -2,47 | 3 | -7,65 | -2,47 | 0 | 0 | 1 | |
| 52 | -7,47 | -2,27 | 3 | -7,47 | -2,27 | 0 | 0 | 1 | |
| 53 | -4,56 | -2,16 | 3 | -4,56 | -2,16 | 0 | 0 | 1 | |
| 54 | -5,17 | -3,06 | 3 | -5,17 | -3,06 | 0 | 0 | 1 | |
| 55 | -5,92 | -1,29 | 3 | -5,92 | -1,29 | 0 | 0 | 1 | |
| 56 | -6,01 | 0,15 | 3 | -6,01 | 0,15 | 0 | 0 | 1 | |
| 57 | -5,28 | 0,45 | 3 | -5,28 | 0,45 | 0 | 0 | 1 | |
| 58 | -3,48 | 0,00 | 3 | -3,48 | 0,00 | 0 | 0 | 1 | |
| 59 | -2,82 | -0,87 | 3 | -2,82 | -0,87 | 0 | 0 | 1 | |
| 60 | -3,12 | -2,28 | 3 | -3,12 | -2,28 | 0 | 0 | 1 | |

a)



b)

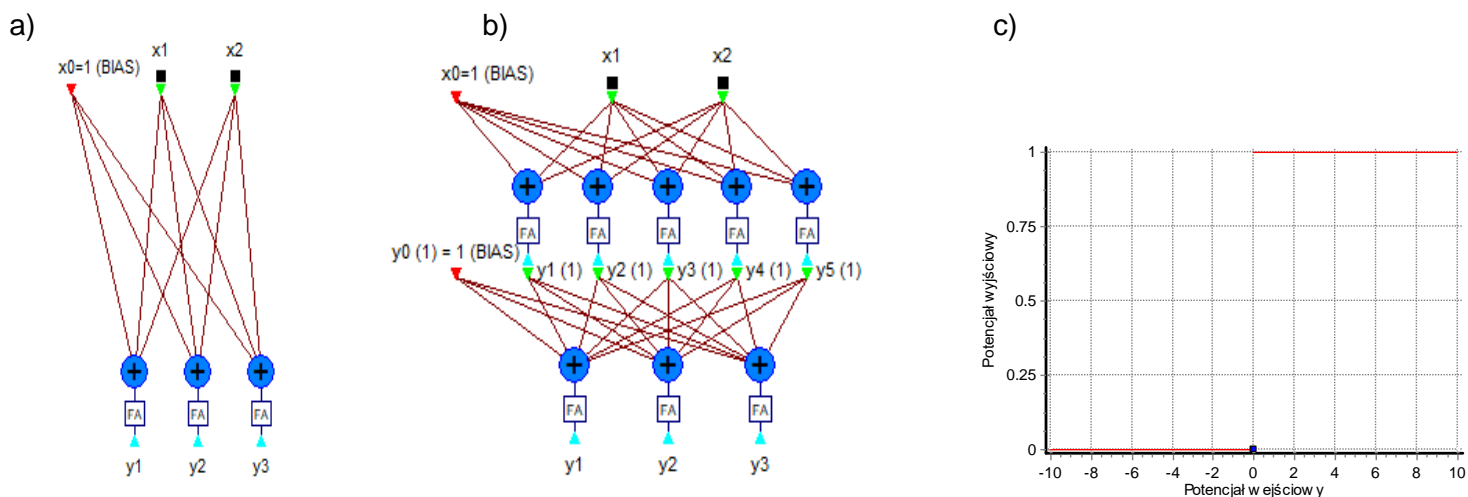


Rys. 3. Postać graficzna numerycznych zbiorów danych: a) uczących z tabeli 3 (kolorowe punkty) i b) testowych z tabeli 4 (kolorowe punkty) – wariant bez skalowania danych

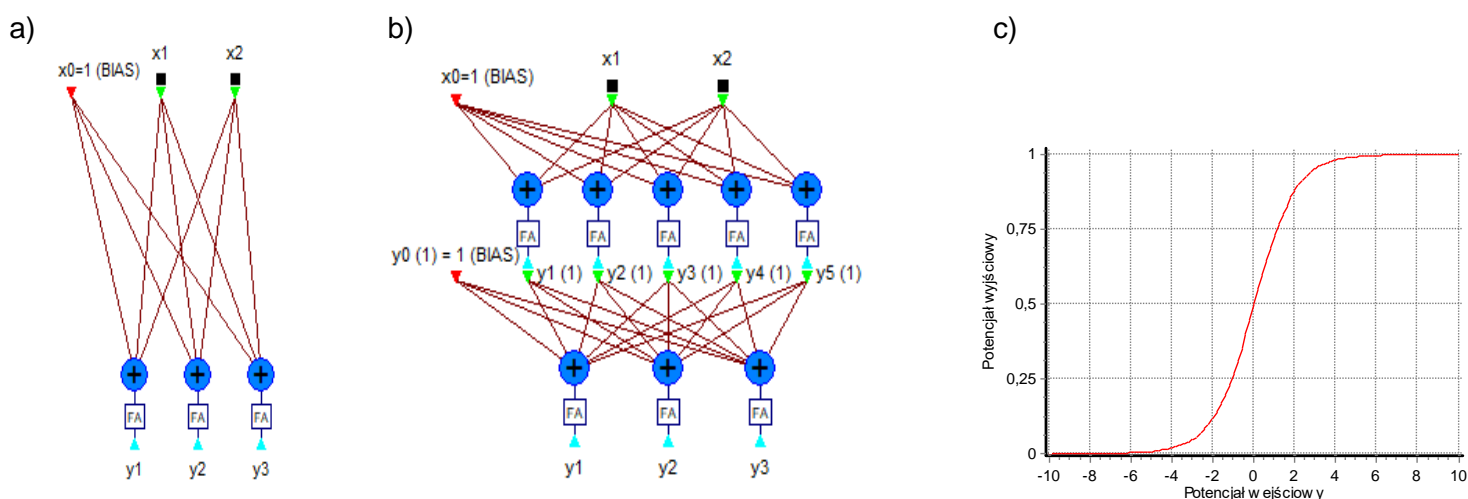
Ad. 3. Projektowanie struktury sieci neuronowej.

W dalszej części raportu będą rozważane cztery struktury sieci neuronowej:

- 1W-SKOK - jednowarstwowa sieć neuronowa z funkcją aktywacji neuronów typu skok jednostkowy (rys. 4a),
- 2W-SKOK - dwuwarstwowa sieć neuronowa z funkcją aktywacji neuronów typu skok jednostkowy (rys. 4b),
- 1W-SIG - jednowarstwowa sieć neuronowa z sigmoidalną funkcją aktywacji neuronów (rys. 5a),
- 2W-SIG - dwuwarstwowa sieć neuronowa z sigmoidalną funkcją aktywacji neuronów (rys. 5b).



Rys. 4. Struktura sieci neuronowej 1W-SKOK (a) i 2W-SKOK (b) oraz funkcja aktywacji neuronów (c)



Rys. 5. Struktura sieci neuronowej 1W-SIG (a) i 2W-SIG (b) oraz funkcja aktywacji neuronów (c)

Ad. 4. A. Procesy uczenia jednowarstwowej sieci neuronowej z wyjściami dyskretnymi (neurony ze skokową funkcją aktywacji) (1W-SKOK)

Tabela 5. Wpływ współczynnika uczenia na proces uczenia sieci neuronowej 1W-SKOK (algorytm uczenia: reguła perceptronowa, liczba epok uczenia: 100)

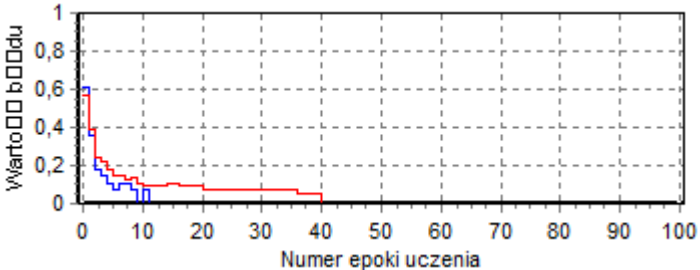
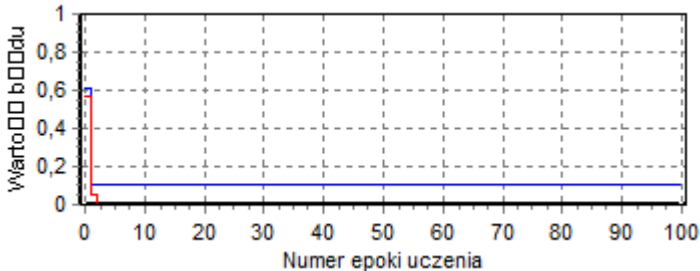
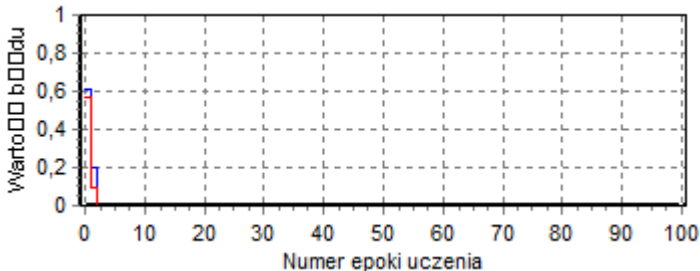
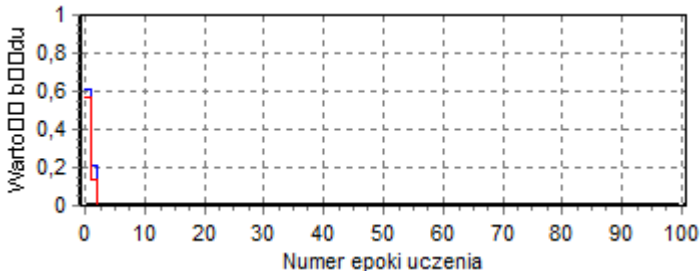
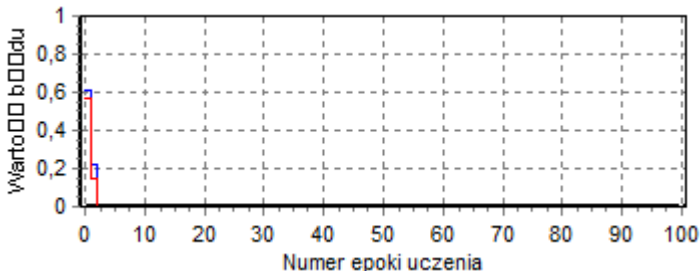
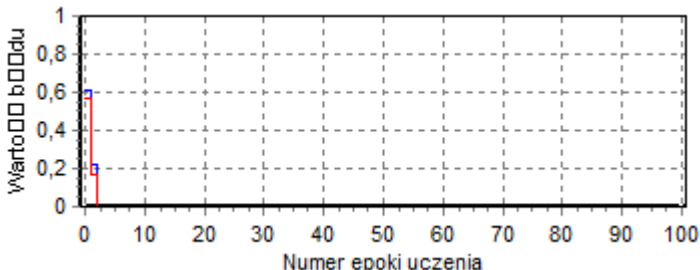
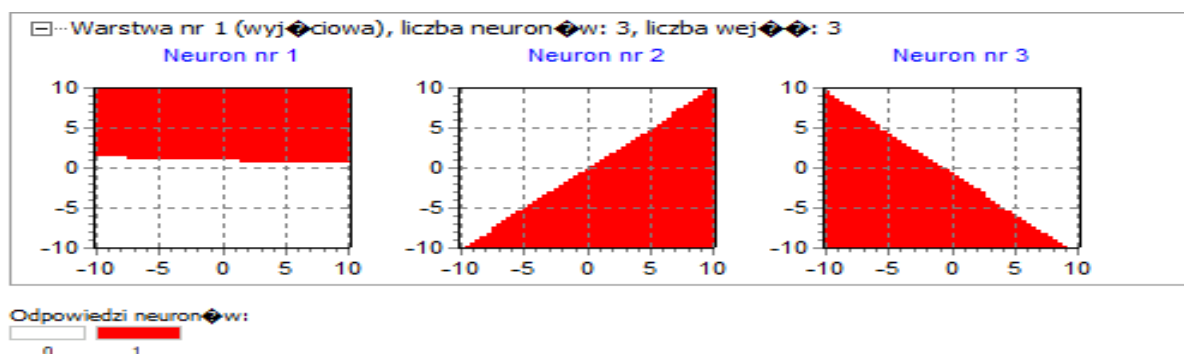
| Lp. | Najważniejsze parametry procesu uczenia | Przebieg błędów uczenia / testowania | Wyniki uczenia |
|-----|---|--|---|
| 1 | Współczynnik uczenia: 0.001 |  | Błąd uczenia / testowania: 0 / 0 |
| | Aktualizacja wag: po iteracji | | Liczba poprawnych odpowiedzi dla danych uczących / testowych: 120 (100%) / 60 (100%) |
| | Kolejność próbek: losowa | | |
| | | | |
| 2 | Współczynnik uczenia: 0.1 |  | Błąd uczenia / testowania: 0 / 0.1054 |
| | Aktualizacja wag: po iteracji | | Liczba poprawnych odpowiedzi dla danych uczących / testowych: 120 (100%) / 58 (96%) |
| | Kolejność próbek: losowa | | |
| | | | |
| 3 | Współczynnik uczenia: 0.2 |  | Błąd uczenia / testowania: 0 / 0 |
| | Aktualizacja wag: po iteracji | | Liczba poprawnych odpowiedzi dla danych uczących / testowych: 120 (100%) / 60 (100%) |
| | Kolejność próbek: losowa | | |
| | | | |
| 4 | Współczynnik uczenia: 0.3 |  | Błąd uczenia / testowania: 0 / 0 |
| | Aktualizacja wag: po iteracji | | Liczba poprawnych odpowiedzi dla danych uczących / testowych: 120 (100%) / 60(100%) |
| | Kolejność próbek: losowa | | |
| | | | |
| 5 | Współczynnik uczenia: 0.4 |  | Błąd uczenia / testowania: 0 / 0 |
| | Aktualizacja wag: po iteracji | | Liczba poprawnych odpowiedzi dla danych uczących / testowych: 120 (100%) / 60(100%) |
| | Kolejność próbek: losowa | | |
| | | | |
| 6 | Współczynnik uczenia: 0.6 |  | Błąd uczenia / testowania: 0 / 0 |
| | Aktualizacja wag: po iteracji | | Liczba poprawnych odpowiedzi dla danych uczących / testowych: 120 (100%) / 60 (100%) |
| | Kolejność próbek: losowa | | |
| | | | |

Tabela 6. Wpływ wybranych strategii na proces uczenia sieci neuronowej 1W-SKOK (algorytm uczenia: reguła perceptronowa, liczba epok uczenia: 100)

| Lp. | Najważniejsze parametry procesu uczenia | Przebieg błędów uczenia / testowania | Wyniki uczenia |
|-----|---|--------------------------------------|--|
| 1 | Współczynnik uczenia: 0.2 | | Błąd uczenia / testowania: 0.0 / 0.0 |
| | Aktualizacja wag: po iteracji | | Liczba poprawnych odpowiedzi dla danych uczących / testowych: 120 (100%) / 60(100%) |
| | Kolejność próbek: kolejno wg numeracji | | |
| | | | |
| 2 | Współczynnik uczenia: 0.2 | | Błąd uczenia / testowania: 0 / 0 |
| | Aktualizacja wag: po iteracji | | Liczba poprawnych odpowiedzi dla danych uczących / testowych: 120 (100%) / 60 (100%) |
| | Kolejność próbek: losowa | | |
| | | | |
| 3 | Współczynnik uczenia: 0.2 | | Błąd uczenia / testowania: 0 / 0.0745 |
| | Aktualizacja wag: po epoce | | Liczba poprawnych odpowiedzi dla danych uczących / testowych: 120 (100%) / 59 (98%) |
| | Kolejność próbek: nie dotyczy | | |
| | | | |



Rys. 6. Obszary aktywności neuronów sieci 1W-SKOK po upływie 100 epok procesu uczenia z poz. 2 tabeli 6.

Wnioski: ... wypełnia student

[illegible]

Ad. 4. B. Procesy uczenia jednowarstwowej sieci neuronowej z wyjściami ciągłymi (neurony z sigmoidalną funkcją aktywacji) (1W-SIG)

Tabela 7. Wpływ współczynnika uczenia na proces uczenia sieci neuronowej 1W-SIG (algorytm wstecznej propagacji błędów, liczba epok uczenia: 250)

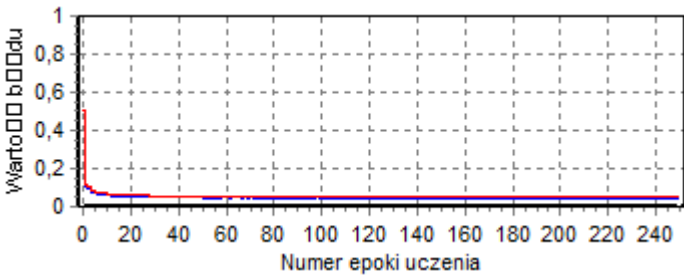
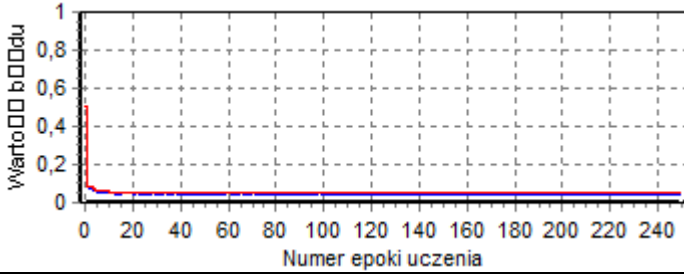
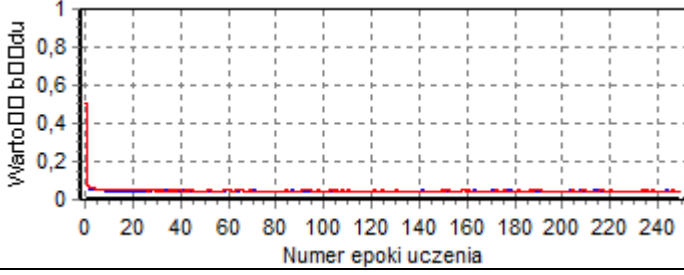
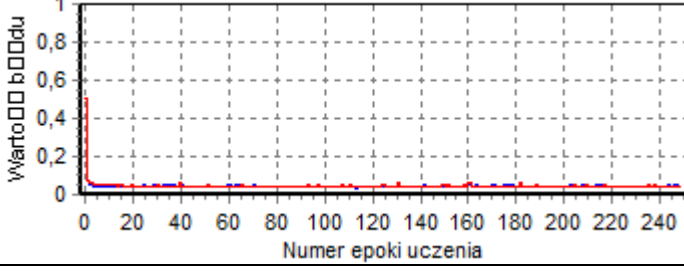
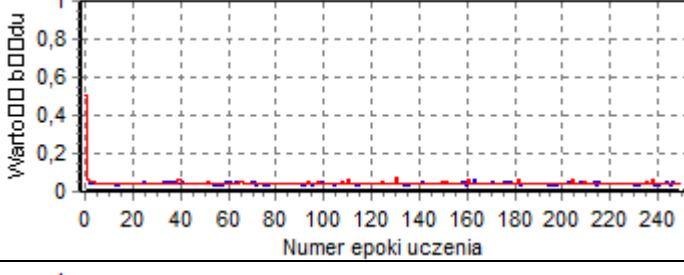
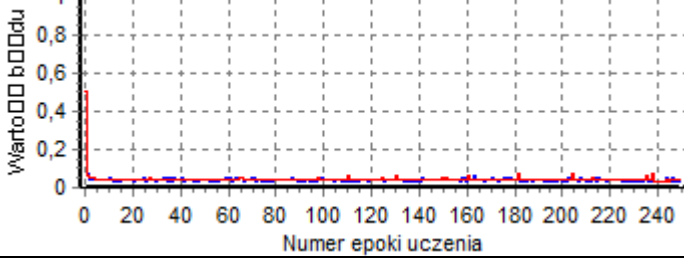
| Lp. | Najważniejsze parametry procesu uczenia | Przebieg błędów uczenia / testowania | Wyniki uczenia |
|-----|---|--|---|
| 1 | Współczynnik uczenia: 0.2 |  | Błąd uczenia / testowania: 0.0506 / 0.0447 |
| | Współczynnik momentu: 0.0 | | Liczba próbek danych uczących / testowych w tolerancji 0.1 / 0.3: 104 (86%) / 60(100%) |
| | Aktualizacja wag: po iteracji | | |
| | Kolejność próbek: losowa | | |
| 2 | Współczynnik uczenia: 0.4 |  | Błąd uczenia / testowania: 0.0494 / 0.0429 |
| | Współczynnik momentu: 0.0 | | Liczba próbek danych uczących / testowych w tolerancji 0.1 / 0.3: 104 (86%) / 60 (100%) |
| | Aktualizacja wag: po iteracji | | |
| | Kolejność próbek: losowa | | |
| 3 | Współczynnik uczenia: 0.6 |  | Błąd uczenia / testowania: 0.0473 / 0.0409 |
| | Współczynnik momentu: 0.0 | | Liczba próbek danych uczących / testowych w tolerancji 0.1 / 0.3: 105 (87%) / 60 (100%) |
| | Aktualizacja wag: po iteracji | | |
| | Kolejność próbek: losowa | | |
| 4 | Współczynnik uczenia: 0.7 |  | Błąd uczenia / testowania: 0.0456 / 0.0396 |
| | Współczynnik momentu: 0.0 | | Liczba próbek danych uczących / testowych w tolerancji 0.1 / 0.3: 105 (87%) / 60 (100%) |
| | Aktualizacja wag: po iteracji | | |
| | Kolejność próbek: losowa | | |
| 5 | Współczynnik uczenia: 0.8 |  | Błąd uczenia / testowania: 0.0432 / 0.0380 |
| | Współczynnik momentu: 0.0 | | Liczba próbek danych uczących / testowych w tolerancji 0.1 / 0.3: 107 (89%) / 60 (100%) |
| | Aktualizacja wag: po iteracji | | |
| | Kolejność próbek: losowa | | |
| 6 | Współczynnik uczenia: 0.9 |  | Błąd uczenia / testowania: 0.0399 / 0.0358 |
| | Współczynnik momentu: 0.0 | | Liczba próbek danych uczących / testowych w tolerancji 0.1 / 0.3: 107 (89%) / 60 (100%) |
| | Aktualizacja wag: po iteracji | | |
| | Kolejność próbek: losowa | | |

Tabela 8. Wpływ współczynnika momentu na proces uczenia sieci neuronowej 1W-SIG (algorytm wstecznej propagacji błędów, liczba epok uczenia: 250)

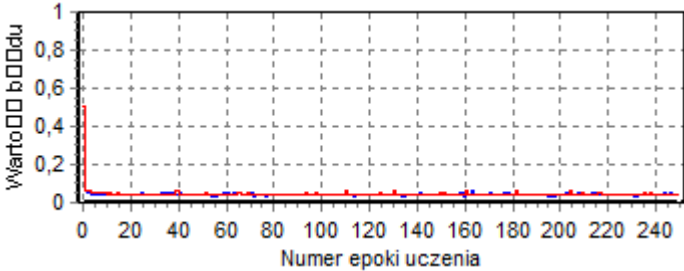
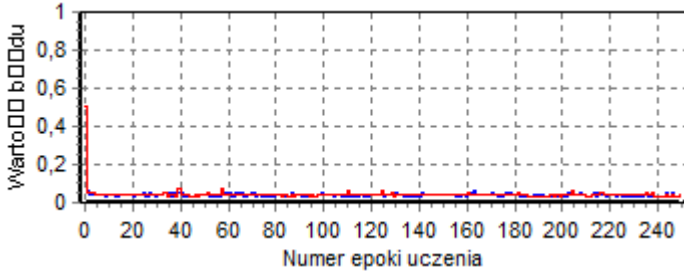
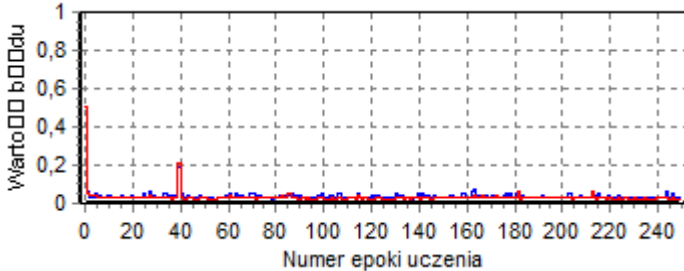
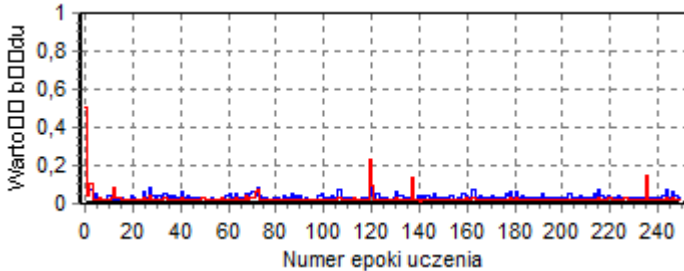
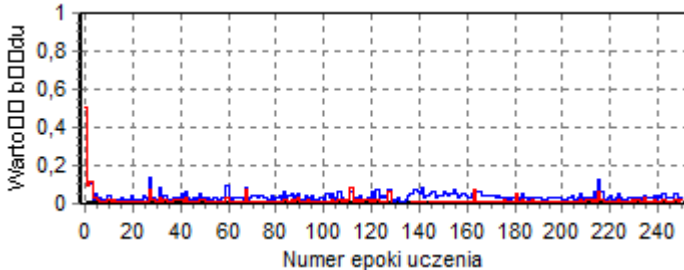
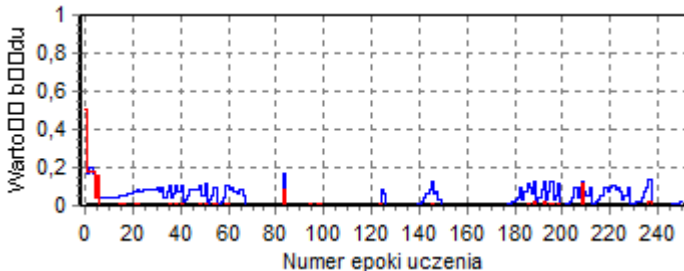
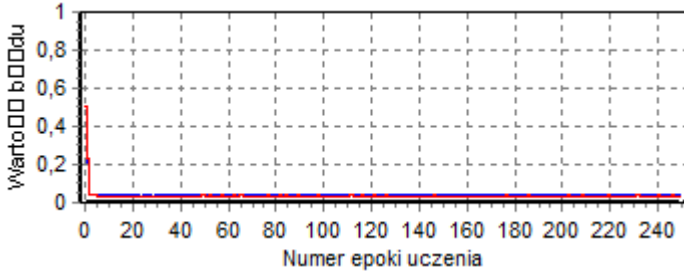
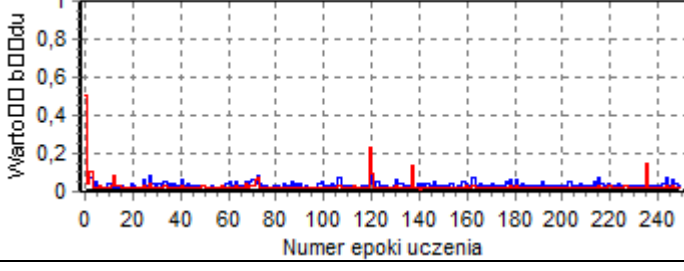
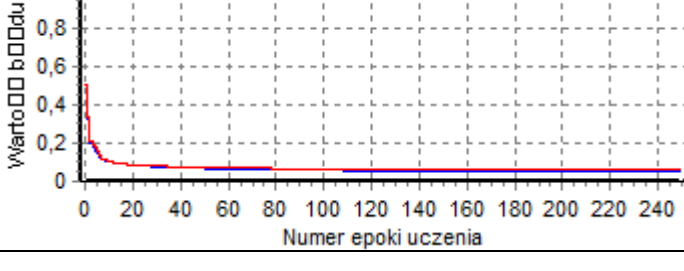
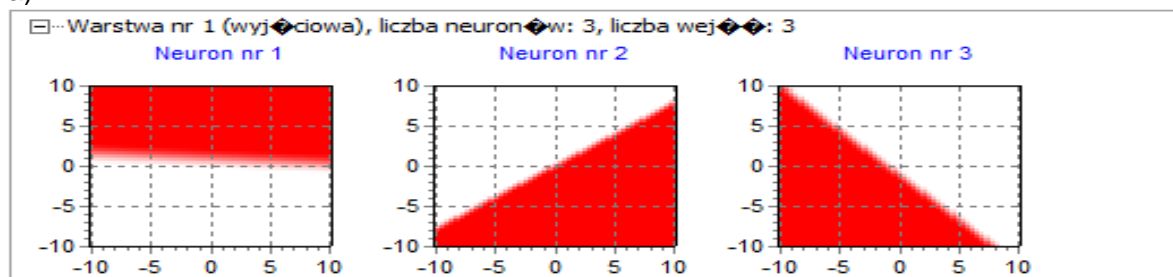
| Lp. | Najważniejsze parametry procesu uczenia | Przebieg błędów uczenia / testowania | Wyniki uczenia |
|-----|---|--|---|
| 1 | Współczynnik uczenia: 0.6 |  | Błąd uczenia / testowania: 0.0449 / 0.0391 |
| | Współczynnik momentu: 0.2 | | Liczba próbek danych uczących / testowych w tolerancji 0.1 / 0.3: 106 (88%) / 60 (100%) |
| | Aktualizacja wag: po iteracji | | |
| | Kolejność próbek: losowa | | |
| 2 | Współczynnik uczenia: 0.6 |  | Błąd uczenia / testowania: 0.0386 / 0.0351 |
| | Współczynnik momentu: 0.4 | | Liczba próbek danych uczących / testowych w tolerancji 0.1 / 0.3: 107 (89%) / 60 (100%) |
| | Aktualizacja wag: po iteracji | | |
| | Kolejność próbek: losowa | | |
| 3 | Współczynnik uczenia: 0.6 |  | Błąd uczenia / testowania: 0.0239 / 0.0304 |
| | Współczynnik momentu: 0.6 | | Liczba próbek danych uczących / testowych w tolerancji 0.1 / 0.3: 114 (95%) / 60 (100%) |
| | Aktualizacja wag: po iteracji | | |
| | Kolejność próbek: losowa | | |
| 4 | Współczynnik uczenia: 0.6 |  | Błąd uczenia / testowania: 0.0195 / 0.0326 |
| | Współczynnik momentu: 0.7 | | Liczba próbek danych uczących / testowych w tolerancji 0.1 / 0.3: 116 (96%) / 60 (100%) |
| | Aktualizacja wag: po iteracji | | |
| | Kolejność próbek: losowa | | |
| 5 | Współczynnik uczenia: 0.6 |  | Błąd uczenia / testowania: 0.0132 / 0.0383 |
| | Współczynnik momentu: 0.8 | | Liczba próbek danych uczących / testowych w tolerancji 0.1 / 0.3: 117 (97%) / 59 (98%) |
| | Aktualizacja wag: po iteracji | | |
| | Kolejność próbek: losowa | | |
| 6 | Współczynnik uczenia: 0.6 |  | Błąd uczenia / testowania: 0.0008 / 0.0360 |
| | Współczynnik momentu: 0.9 | | Liczba próbek danych uczących / testowych w tolerancji 0.1 / 0.3: 120 (100%) / 59 (98%) |
| | Aktualizacja wag: po iteracji | | |
| | Kolejność próbek: losowa | | |

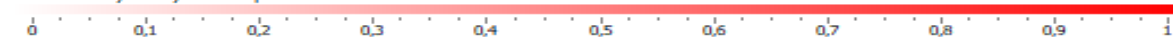
Tabela 9. Wpływ wybranych strategii na proces uczenia sieci neuronowej 1W-SIG (algorytm wstecznej propagacji błędów, liczba epok uczenia: 250)

| Lp. | Najważniejsze parametry procesu uczenia | Przebieg błędów uczenia / testowania | Wyniki uczenia |
|-----|--|---|---|
| 1 | Współczynnik uczenia: 0.6 |  | Błąd uczenia / testowania: 0.0358 / 0.0391 |
| | Współczynnik momentu: 0.7 | | Liczba próbek danych uczących / testowych w tolerancji 0.1 / 0.3: 108 (90%) / 60 (100%) |
| | Aktualizacja wag: po iteracji | | |
| | Kolejność próbek: kolejno wg numeracji | | |
| 2 | Współczynnik uczenia: 0.6 |  | Błąd uczenia / testowania: 0.0195 / 0.0326 |
| | Współczynnik momentu: 0.7 | | Liczba próbek danych uczących / testowych w tolerancji 0.1 / 0.3: 116 (96%) / 60 (100%) |
| | Aktualizacja wag: po iteracji | | |
| | Kolejność próbek: losowa | | |
| 3 | Współczynnik uczenia: 0.6 |  | Błąd uczenia / testowania: 0.0587 / 0.0516 |
| | Współczynnik momentu: 0.7 | | Liczba próbek danych uczących / testowych w tolerancji 0.1 / 0.3: 103 (85%) / 60 (100%) |
| | Aktualizacja wag: po epoce | | |
| | Kolejność próbek: nie dotyczy | | |

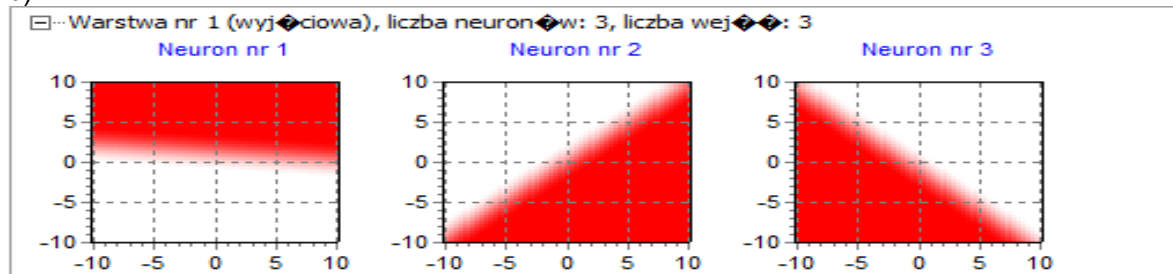
a)



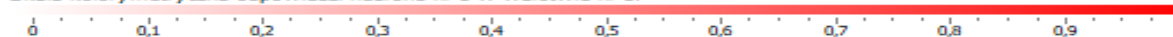
Skala kolorymetryczna odpowiedzi neuronu nr 1 w warstwie nr 1:



b)



Skala kolorymetryczna odpowiedzi neuronu nr 1 w warstwie nr 1:



Rys. 7. Obszary aktywności neuronów sieci 1W-SIG po upływie 250 epok procesu uczenia z włączoną aktualizacją wag po zakończeniu każdej iteracji (a) / epoce (b) (poz. 2 / 3 z tabeli 9)

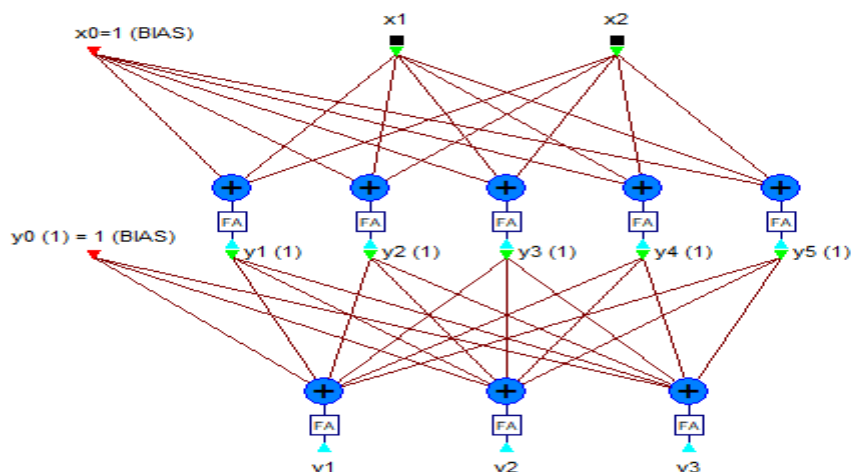
Wnioski:

Ad. 4. C. Procesy uczenia dwuwarstwowej sieci neuronowej z wyjściami ciągłymi (neurony z sigmoidalną funkcją aktywacji) (2W-SIG)

Tabela 10. Wpływ wybranych strategii na proces uczenia sieci neuronowej 2W-SIG (algorytm wstecznej propagacji błędów, liczba epok uczenia: 100)

| Lp. | Najważniejsze parametry procesu uczenia | Przebieg błędów uczenia / testowania | Wyniki uczenia |
|-----|--|--------------------------------------|---|
| 1 | Współczynnik uczenia: 0.6 | | Błąd uczenia / testowania: 0.0133 / 0.0064 |
| | Współczynnik momentu: 0.7 | | Liczba próbek danych uczących / testowych w tolerancji 0.1 / 0.3: |
| | Aktualizacja wag: po iteracji | | 119 (99%) / 60 (100%) |
| | Kolejność próbek: kolejno wg numeracji | | |
| 2 | Współczynnik uczenia: 0.6 | | Błąd uczenia / testowania: 0.0083 / 0.0095 |
| | Współczynnik momentu: 0.7 | | Liczba próbek danych uczących / testowych w tolerancji 0.1 / 0.3: |
| | Aktualizacja wag: po iteracji | | 120 (100%) / 60 (100%) |
| | Kolejność próbek: losowa | | |
| 3 | Współczynnik uczenia: 0.6 | | Błąd uczenia / testowania: 0.1456 / 0.1370 |
| | Współczynnik momentu: 0.7 | | Liczba próbek danych uczących / testowych w tolerancji 0.1 / 0.3: |
| | Aktualizacja wag: po epoce | | 35 (29%) / 54 (90%) |
| | Kolejność próbek: nie dotyczy | | |

Ad. 4. D. Manualny dobór wag dwuwarstwowej sieci neuronowej z wyjściami dyskretnymi (neurony z funkcją aktywacji skoku jednostkowego) (2W-SKOK)

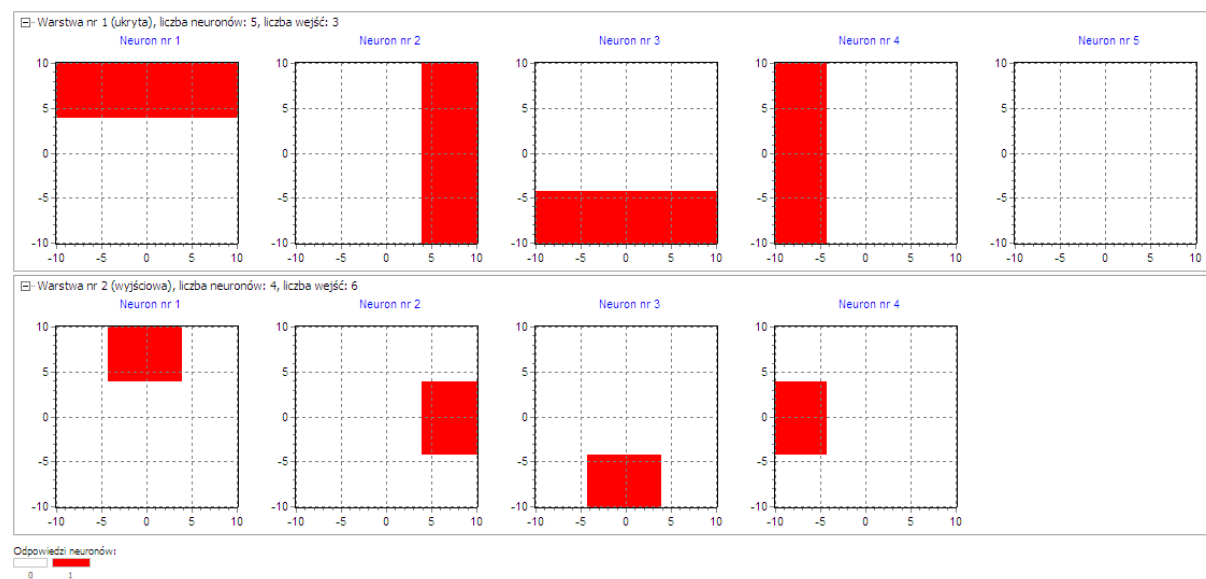


Rys. 10. Struktura sieci neuronowej 2W-SKOK.

Tabela 11. Zbiór wektorów wagowych sieci neuronowej 2W-SKOK

| Warstwa nr 1 (ukryta), liczba neuronów: 5, liczba wejść: 3 | | | |
|--|---------------|----|----|
| Numer neuronu | x0 = 1 (BIAS) | x1 | x2 |
| 1 | -3 | 0 | 1 |
| 2 | -3 | 1 | 0 |
| 3 | -3 | 0 | -1 |
| 4 | -3 | -1 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 |

| Warstwa nr 2 (wyjściowa), liczba neuronów: 3, liczba wejść: 6 | | | | | | |
|---|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Numer neuronu | y0 (1) = 1 (BIAS) | y1 (1) | y2 (1) | y3 (1) | y4 (1) | y5 (1) |
| 1 | -1 | 2 | -1 | 0 | -1 | 0 |
| 2 | -1 | -1 | 2 | -1 | 0 | 0 |
| 3 | -1 | 0 | -1 | 2 | -1 | 0 |



Rys. 11. Obszary aktywności neuronów sieci neuronowej 2W-SKOK.

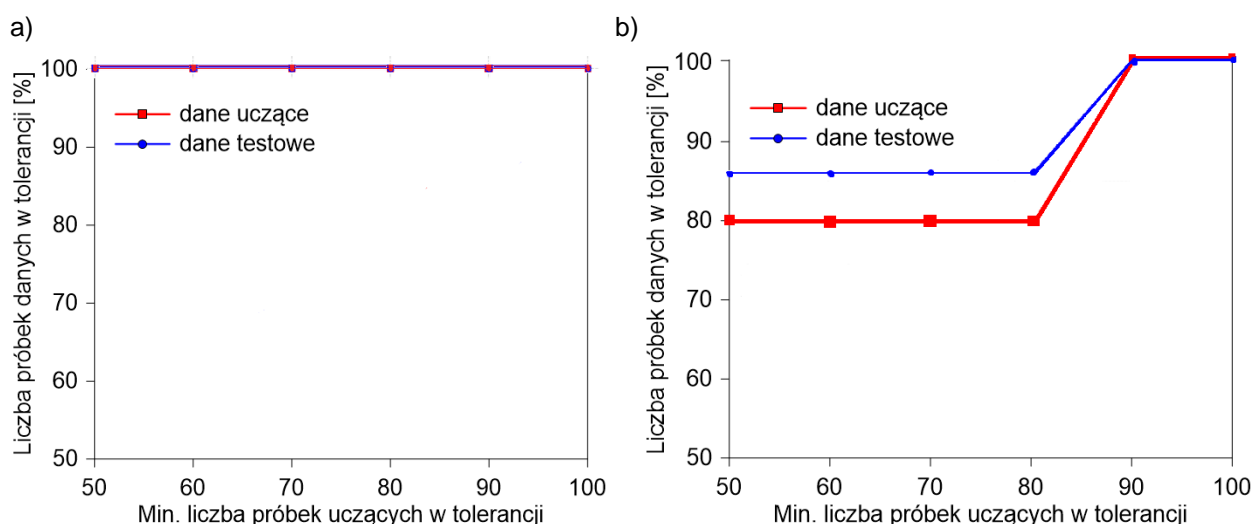
Ad. 5. 5. Analiza najlepszego procesu uczenia sieci neuronowej z ciągłymi funkcjami aktywacji z pkt 4, dla różnych zadanych tolerancji uczenia

Do analizy wykorzystano algorytm uczenia wstecznej propagacji błędów, ze współczynnikiem uczenia 0.6 i współczynnikiem momentu 0.7 oraz aktualizacją wag po zakończeniu każdej iteracji.

Tabela 12. Procesy uczenia sieci neuronowej przy zadanej liczbie próbek danych uczących w tolerancji 0.4 i próbek danych testowych w tolerancji 0.4

| Parametry: - tolerancja uczenia: 0.4 - tolerancja testowania: 0.4 - kolejność próbek: losowa | | | | | | |
|---|------------------------------------|---------------------|---|-------------|--|-------------|
| Min. liczba próbek uczących w tolerancji | Liczba neuronów w warstwie ukrytej | Liczba epok uczenia | Ostateczna liczba próbek danych uczących w tolerancji | | Ostateczna liczba próbek danych testowych w tolerancji | |
| 50% | 0 | 1 | 120 | 100% | 60 | 100% |
| 60% | 0 | 1 | 120 | 100% | 60 | 100% |
| 70% | 0 | 1 | 120 | 100% | 60 | 100% |
| 80% | 0 | 1 | 120 | 100% | 60 | 100% |
| 90% | 0 | 1 | 120 | 100% | 60 | 100% |
| 100% | 0 | 1 | 120 | 100% | 60 | 100% |

| Parametry: - tolerancja uczenia: 0.4 - tolerancja testowania: 0.4 - kolejność próbek: kolejno wg numeracji w zbiorze danych | | | | | | |
|--|------------------------------------|---------------------|---|------|--|------|
| Min. liczba próbek uczących w tolerancji | Liczba neuronów w warstwie ukrytej | Liczba epok uczenia | Ostateczna liczba próbek danych uczących w tolerancji | | Ostateczna liczba próbek danych testowych w tolerancji | |
| 50% | 0 | 1 | 96 | 80% | 52 | 86% |
| 60% | 0 | 1 | 96 | 80% | 52 | 86% |
| 70% | 0 | 1 | 96 | 80% | 52 | 86% |
| 80% | 0 | 1 | 96 | 80% | 52 | 86% |
| 90% | 0 | 2 | 120 | 100% | 60 | 100% |
| 100% | 0 | 2 | 120 | 100% | 60 | 100% |



Rys. 12. Graficzna ilustracja wyników z tabeli 12: a) eksperymenty z włączoną losową kolejnością podawania próbek danych uczących i b) z wyłączoną.

Tabela 13. Zbiór numerycznych danych uczących i odpowiedzi sieci neuronowej najlepszego systemu z tabeli 12 (wyróżnionego pogrubioną czcionką):

| Lp. | Zbiór danych numerycznych | | | Odpowiedzi pożądane | | | Odpowiedzi rzeczywiste | | | |
|-----|---------------------------|-------|-------|---------------------|----|----|------------------------|------|------|--|
| | x1 | x2 | Klasa | y1 | y2 | y3 | y1 | y2 | y3 | |
| 1 | -7,38 | 8,59 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,12 | |
| 2 | -5,80 | 7,63 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 3 | -4,70 | 8,29 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 4 | -2,76 | 5,83 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 5 | -1,75 | 3,72 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 6 | 1,43 | 4,23 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 7 | 1,55 | 2,55 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,19 | 0,00 | |
| 8 | 0,38 | 1,95 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,01 | 0,00 | |
| 9 | -0,40 | 1,77 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0,95 | 0,00 | 0,00 | |
| 10 | -0,08 | 5,08 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 11 | 1,47 | 6,73 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 12 | 2,58 | 7,03 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 13 | 0,76 | 7,69 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 14 | -1,32 | 8,23 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 15 | -1,58 | 7,12 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 16 | 1,25 | 5,95 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 17 | 3,51 | 7,81 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 18 | 4,08 | 7,96 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 19 | 5,18 | 7,15 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,12 | 0,00 | |
| 20 | 3,80 | 5,77 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,06 | 0,00 | |
| 21 | 3,50 | 5,53 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,04 | 0,00 | |
| 22 | 2,33 | 4,95 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 23 | 0,85 | 5,11 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 24 | -1,02 | 6,49 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 25 | -2,05 | 6,04 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 26 | -3,76 | 6,91 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 27 | -4,38 | 6,61 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 28 | -4,08 | 5,65 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 29 | -2,61 | 4,08 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 30 | -1,77 | 3,24 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 31 | -0,10 | 3,69 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 32 | 0,44 | 4,50 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 33 | 1,68 | 5,14 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 34 | 2,24 | 6,04 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 35 | 3,18 | 6,34 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 36 | 6,33 | 8,02 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,27 | 0,00 | |
| 37 | 7,32 | 8,98 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,35 | 0,00 | |
| 38 | 5,52 | 8,86 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 39 | 3,78 | 9,25 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 40 | 1,57 | 9,04 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 41 | 0,50 | -0,12 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 0,73 | 0,25 | |
| 42 | 1,08 | 0,42 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,23 | 0,78 | 0,00 | |
| 43 | 1,53 | -0,06 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,04 | 1,00 | 0,00 | |
| 44 | 1,62 | -0,69 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,04 | |
| 45 | 3,31 | -0,21 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,02 | 1,00 | 0,00 | |
| 46 | 1,19 | -0,39 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,08 | |
| 47 | 2,45 | 0,15 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,13 | 1,00 | 0,00 | |
| 48 | 2,61 | -0,75 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 49 | 2,86 | -1,26 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 50 | 3,18 | -1,80 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 51 | 3,44 | -2,07 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 52 | 3,93 | -2,43 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 53 | 5,11 | -1,80 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 54 | 5,65 | -0,75 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 55 | 6,76 | -1,02 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 56 | 7,15 | -2,16 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 57 | 7,15 | -3,12 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 58 | 7,15 | -4,11 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 59 | 6,34 | -4,68 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 60 | 5,71 | -4,77 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| | | | | | | | | | | |
| Lp. | Zbiór danych numerycznych | | | Odpowiedzi pożądane | | | Odpowiedzi rzeczywiste | | | |
| | x1 | x2 | Klasa | y1 | y2 | y3 | y1 | y2 | y3 | |
| 61 | 6,14 | -3,06 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 62 | 6,12 | -1,95 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 63 | 5,56 | -1,23 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 64 | 4,11 | -0,21 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,04 | 1,00 | 0,00 | |
| 65 | 4,15 | -0,87 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 66 | 4,40 | -1,53 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 67 | 4,56 | -2,28 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 68 | 4,77 | -3,36 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 69 | 5,00 | -4,05 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 70 | 5,73 | -3,87 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 71 | 6,57 | -3,33 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 72 | 6,83 | -2,49 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 73 | 6,68 | -2,04 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 74 | 7,39 | -1,53 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 75 | 7,90 | -1,53 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 76 | 8,03 | -1,95 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 77 | 8,03 | -2,73 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 78 | 8,03 | -3,27 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 79 | 8,03 | -3,90 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 80 | 7,98 | -5,77 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 81 | -2,54 | 0,27 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,06 | 0,00 | 1,00 | |
| 82 | -1,68 | 0,18 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,05 | 0,00 | 1,00 | |
| 83 | -1,21 | -0,57 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,15 | 1,00 | |
| 84 | -2,15 | -1,23 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,05 | 1,00 | |
| 85 | -3,03 | -0,93 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 86 | -3,59 | -0,90 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 87 | -5,39 | -0,69 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 88 | -4,21 | -0,15 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 89 | -3,91 | 0,12 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 90 | -3,57 | 0,12 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 91 | -3,23 | -0,27 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 92 | -2,78 | -0,36 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 93 | -4,26 | 0,75 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,23 | 0,00 | 1,00 | |
| 94 | -5,15 | 0,39 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,05 | 0,00 | 1,00 | |
| 95 | -5,61 | 0,09 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 96 | -5,31 | -0,45 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 97 | -4,60 | -1,05 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 98 | -4,71 | -2,46 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 99 | -6,10 | -3,09 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 100 | -6,44 | -3,27 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 101 | -6,79 | -3,15 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 102 | -7,36 | -2,19 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 103 | -7,47 | -2,07 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 104 | -7,41 | -2,85 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 105 | -7,21 | -3,54 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 106 | -6,51 | -4,23 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 107 | -6,23 | -4,32 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 108 | -5,52 | -3,87 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 109 | -5,78 | -1,47 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 110 | -6,23 | -1,26 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 111 | -7,08 | -0,03 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 112 | -7,11 | 0,33 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 113 | -7,68 | -0,06 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 114 | -7,84 | -0,93 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 115 | -7,84 | -1,62 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 116 | -7,84 | -2,28 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 117 | -8,11 | -3,93 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 118 | -8,29 | -4,56 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 119 | -8,41 | -4,62 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 120 | -8,44 | -4,77 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |

systemu z tabeli 12 (wyróżnionego pogrubioną czcionką):

| Lp. | Zbiór danych numerycznych | | | Odpowiedzi pożądane | | | | Odpowiedzi rzeczywiste | | | | Lp. | Zbiór danych numerycznych | | | Odpowiedzi pożądane | | | | Odpowiedzi rzeczywiste | | | |
|-----|---------------------------|-------|-------|---------------------|----|----|--|------------------------|------|------|--|-----|---------------------------|-------|-------|---------------------|----|----|--|------------------------|------|------|--|
| | x1 | x2 | Klasa | y1 | y2 | y3 | | y1 | y2 | y3 | | | x1 | x2 | Klasa | y1 | y2 | y3 | | y1 | y2 | y3 | |
| 1 | 0,26 | 2,52 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 31 | 6,06 | -3,69 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 2 | -0,35 | 4,86 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 32 | 8,50 | -3,15 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 3 | -2,51 | 5,68 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 33 | 7,75 | -4,59 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 4 | -2,12 | 6,49 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 34 | 6,75 | -4,20 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 5 | -1,71 | 4,02 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 35 | 6,37 | -2,73 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 6 | -3,20 | 4,17 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,12 | | 36 | 5,76 | -1,71 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 7 | -4,48 | 7,33 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 37 | 4,87 | -1,56 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 8 | -2,34 | 8,44 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 38 | 5,20 | -0,63 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 9 | 2,93 | 7,30 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 39 | 5,03 | -0,33 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,02 | 1,00 | 0,00 | |
| 10 | 5,06 | 6,85 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,16 | 0,00 | | 40 | 4,17 | -0,30 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,01 | 1,00 | 0,00 | |
| 11 | 3,34 | 6,22 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 41 | -3,34 | -0,90 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 12 | 1,32 | 7,18 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 42 | -5,01 | -0,48 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 13 | 2,12 | 8,32 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 43 | -4,15 | 0,72 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,21 | 0,00 | 1,00 | |
| 14 | 5,03 | 8,74 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 44 | -2,43 | 0,63 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,22 | 0,00 | 1,00 | |
| 15 | 6,17 | 8,35 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,11 | 0,00 | | 45 | -2,21 | -0,30 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 16 | 3,87 | 7,15 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 46 | -4,26 | -1,38 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 17 | 0,46 | 6,94 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 47 | -5,67 | -1,77 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 18 | 0,76 | 4,98 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 48 | -7,25 | -0,69 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 19 | -0,12 | 5,44 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 49 | -7,67 | -1,86 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 20 | -0,85 | 6,34 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 50 | -7,31 | -2,85 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 21 | 6,50 | -0,63 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | | 51 | -7,65 | -2,47 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 22 | 3,81 | 0,27 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,24 | 1,00 | 0,00 | | 52 | -7,47 | -2,27 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 23 | 2,90 | -0,81 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | | 53 | -4,56 | -2,16 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 24 | 5,95 | -2,28 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | | 54 | -5,17 | -3,06 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 25 | 5,89 | -0,51 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | | 55 | -5,92 | -1,29 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 26 | 4,92 | 0,18 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,22 | 1,00 | 0,00 | | 56 | -6,01 | 0,15 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 27 | 4,37 | -1,02 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | | 57 | -5,28 | 0,45 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,06 | 0,00 | 1,00 | |
| 28 | 2,93 | -0,09 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,05 | 1,00 | 0,00 | | 58 | -3,48 | 0,00 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 29 | 2,79 | -1,41 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | | 59 | -2,82 | -0,87 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 30 | 4,54 | -2,88 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | | 60 | -3,12 | -2,28 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,03 | 1,00 | |

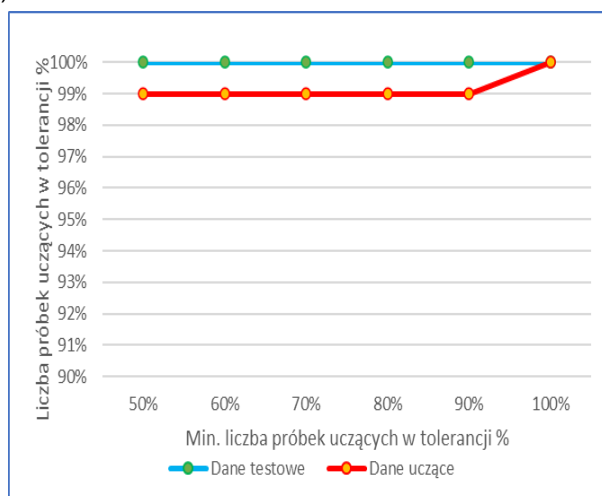
Wnioski:

Tabela 15. Procesy uczenia sieci neuronowej przy zadanej liczbie próbek danych uczących w tolerancji 0.3 i próbek danych testowych w tolerancji 0.3

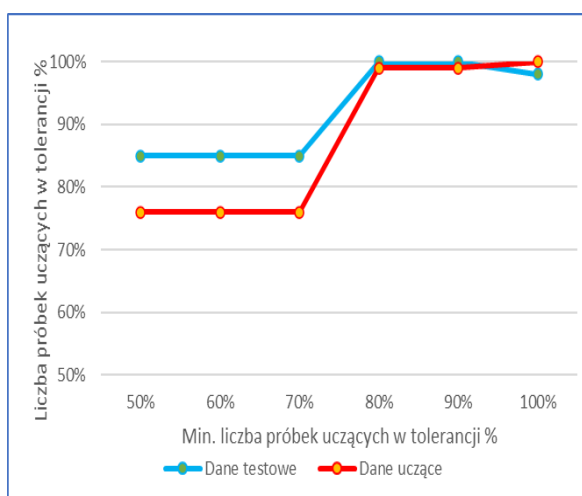
| Parametry: - tolerancja uczenia: 0.3 - tolerancja testowania: 0.3 - kolejność próbek: losowa | | | | | | |
|---|------------------------------------|---------------------|---|-------------|--|-------------|
| Min. liczba próbek uczących w tolerancji | Liczba neuronów w warstwie ukrytej | Liczba epok uczenia | Ostateczna liczba próbek danych uczących w tolerancji | | Ostateczna liczba próbek danych testowych w tolerancji | |
| 50% | 0 | 1 | 119 | 99% | 60 | 100% |
| 60% | 0 | 1 | 119 | 99% | 60 | 100% |
| 70% | 0 | 1 | 119 | 99% | 60 | 100% |
| 80% | 0 | 1 | 119 | 99% | 60 | 100% |
| 90% | 0 | 1 | 119 | 99% | 60 | 100% |
| 100% | 0 | 3 | 120 | 100% | 60 | 100% |

| Parametry: - tolerancja uczenia: 0.3 - tolerancja testowania: 0.3 - kolejność próbek: kolejno wg numeracji w zbiorze danych | | | | | | |
|--|------------------------------------|---------------------|---|------|--|------|
| Min. liczba próbek uczących w tolerancji | Liczba neuronów w warstwie ukrytej | Liczba epok uczenia | Ostateczna liczba próbek danych uczących w tolerancji | | Ostateczna liczba próbek danych testowych w tolerancji | |
| 50% | 0 | 1 | 92 | 76% | 51 | 85% |
| 60% | 0 | 1 | 92 | 76% | 51 | 85% |
| 70% | 0 | 1 | 92 | 76% | 51 | 85% |
| 80% | 0 | 2 | 119 | 99% | 60 | 100% |
| 90% | 0 | 2 | 119 | 99% | 60 | 100% |
| 100% | 0 | 5 | 120 | 100% | 59 | 98% |

a)



b)



Rys. 13. Graficzna ilustracja wyników z tabeli 15: a) eksperymenty z włączoną losową kolejnością podawania próbek danych uczących i b) z wyłączoną.

Tabela 16. Zbiór numerycznych danych uczących i odpowiedzi sieci neuronowej najlepszego systemu z tabeli 15 (wyróżnionego pogrubioną czcionką):

| Lp. | Zbiór danych numerycznych | | | Odpowiedzi pożądane | | | Odpowiedzi rzeczywiste | | | |
|-----|---------------------------|-------|-------|---------------------|----|----|------------------------|------|------|--|
| | x1 | x2 | Klasa | y1 | y2 | y3 | y1 | y2 | y3 | |
| 1 | -7,38 | 8,59 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,03 | |
| 2 | -5,80 | 7,63 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 3 | -4,70 | 8,29 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 4 | -2,76 | 5,83 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 5 | -1,75 | 3,72 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 6 | 1,43 | 4,23 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 7 | 1,55 | 2,55 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 8 | 0,38 | 1,95 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0,91 | 0,00 | 0,00 | |
| 9 | -0,40 | 1,77 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0,81 | 0,00 | 0,00 | |
| 10 | -0,08 | 5,08 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 11 | 1,47 | 6,73 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 12 | 2,58 | 7,03 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 13 | 0,76 | 7,69 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 14 | -1,32 | 8,23 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 15 | -1,58 | 7,12 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 16 | 1,25 | 5,95 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 17 | 3,51 | 7,81 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 18 | 4,08 | 7,96 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 19 | 5,18 | 7,15 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 20 | 3,80 | 5,77 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 21 | 3,50 | 5,53 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 22 | 2,33 | 4,95 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 23 | 0,85 | 5,11 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 24 | -1,02 | 6,49 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 25 | -2,05 | 6,04 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 26 | -3,76 | 6,91 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 27 | -4,38 | 6,61 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 28 | -4,08 | 5,65 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 29 | -2,61 | 4,08 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 30 | -1,77 | 3,24 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 31 | -0,10 | 3,69 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 32 | 0,44 | 4,50 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 33 | 1,68 | 5,14 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 34 | 2,24 | 6,04 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 35 | 3,18 | 6,34 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 36 | 6,33 | 8,02 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 37 | 7,32 | 8,98 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 38 | 5,52 | 8,86 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 39 | 3,78 | 9,25 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 40 | 1,57 | 9,04 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 41 | 0,50 | -0,12 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 0,75 | 0,08 | |
| 42 | 1,08 | 0,42 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,15 | 0,76 | 0,00 | |
| 43 | 1,53 | -0,06 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,01 | 1,00 | 0,00 | |
| 44 | 1,62 | -0,69 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 45 | 3,31 | -0,21 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,01 | 1,00 | 0,00 | |
| 46 | 1,19 | -0,39 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 47 | 2,45 | 0,15 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,09 | 1,00 | 0,00 | |
| 48 | 2,61 | -0,75 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 49 | 2,86 | -1,26 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 50 | 3,18 | -1,80 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 51 | 3,44 | -2,07 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 52 | 3,93 | -2,43 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 53 | 5,11 | -1,80 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 54 | 5,65 | -0,75 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 55 | 6,76 | -1,02 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 56 | 7,15 | -2,16 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 57 | 7,15 | -3,12 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 58 | 7,15 | -4,11 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 59 | 6,34 | -4,68 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 60 | 5,71 | -4,77 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| | | | | | | | | | | |
| Lp. | Zbiór danych numerycznych | | | Odpowiedzi pożądane | | | Odpowiedzi rzeczywiste | | | |
| | x1 | x2 | Klasa | y1 | y2 | y3 | y1 | y2 | y3 | |
| 61 | 6,14 | -3,06 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 62 | 6,12 | -1,95 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 63 | 5,56 | -1,23 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 64 | 4,11 | -0,21 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,02 | 1,00 | 0,00 | |
| 65 | 4,15 | -0,87 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 66 | 4,40 | -1,53 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 67 | 4,56 | -2,28 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 68 | 4,77 | -3,36 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 69 | 5,00 | -4,05 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 70 | 5,73 | -3,87 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 71 | 6,57 | -3,33 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 72 | 6,83 | -2,49 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 73 | 6,68 | -2,04 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 74 | 7,39 | -1,53 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 75 | 7,90 | -1,53 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 76 | 8,03 | -1,95 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 77 | 8,03 | -2,73 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 78 | 8,03 | -3,27 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 79 | 8,03 | -3,90 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 80 | 7,98 | -5,77 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 81 | -2,54 | 0,27 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 82 | -1,68 | 0,18 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 83 | -1,21 | -0,57 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,09 | 1,00 | |
| 84 | -2,15 | -1,23 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,02 | 1,00 | |
| 85 | -3,03 | -0,93 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 86 | -3,59 | -0,90 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 87 | -5,39 | -0,69 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 88 | -4,21 | -0,15 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 89 | -3,91 | 0,12 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 90 | -3,57 | 0,12 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 91 | -3,23 | -0,27 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 92 | -2,78 | -0,36 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 93 | -4,26 | 0,75 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,10 | 0,00 | 1,00 | |
| 94 | -5,15 | 0,39 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 95 | -5,61 | 0,09 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 96 | -5,31 | -0,45 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 97 | -4,60 | -1,05 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 98 | -4,71 | -2,46 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 99 | -6,10 | -3,09 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 100 | -6,44 | -3,27 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 101 | -6,79 | -3,15 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 102 | -7,36 | -2,19 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 103 | -7,47 | -2,07 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 104 | -7,41 | -2,85 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 105 | -7,21 | -3,54 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 106 | -6,51 | -4,23 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 107 | -6,23 | -4,32 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 108 | -5,52 | -3,87 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 109 | -5,78 | -1,47 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 110 | -6,23 | -1,26 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 111 | -7,08 | -0,03 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 112 | -7,11 | 0,33 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 113 | -7,68 | -0,06 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 114 | -7,84 | -0,93 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 115 | -7,84 | -1,62 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 116 | -7,84 | -2,28 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 117 | -8,11 | -3,93 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 118 | -8,29 | -4,56 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 119 | -8,41 | -4,62 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 120 | -8,44 | -4,77 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |

systemu z tabeli 15 (wyróżnionego pogrubioną czcionką):

| Lp. | Zbiór danych numerycznych | | | Odpowiedzi pożądane | | | | Odpowiedzi rzeczywiste | | | | Lp. | Zbiór danych numerycznych | | | Odpowiedzi pożądane | | | | Odpowiedzi rzeczywiste | | | |
|-----|---------------------------|-------|-------|---------------------|----|----|--|------------------------|------|------|--|-----|---------------------------|-------|-------|---------------------|----|----|--|------------------------|------|------|--|
| | x1 | x2 | Klasa | y1 | y2 | y3 | | y1 | y2 | y3 | | | x1 | x2 | Klasa | y1 | y2 | y3 | | y1 | y2 | y3 | |
| 1 | 0,26 | 2,52 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 31 | -3,70 | -7,98 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 2 | -0,35 | 4,86 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 32 | -3,70 | -5,36 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 3 | -2,51 | 5,68 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 33 | -1,67 | -4,31 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 4 | -2,12 | 6,49 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 34 | 0,80 | -4,31 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 5 | -1,71 | 4,02 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 35 | 3,27 | -4,23 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 6 | -3,20 | 4,17 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 36 | 3,76 | -5,96 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 7 | -4,48 | 7,33 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 37 | 3,76 | -8,05 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 8 | -2,34 | 8,44 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 38 | 3,02 | -10,0 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 9 | 2,93 | 7,30 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 39 | -2,90 | -9,63 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,01 | 1,00 | 0,00 | |
| 10 | 5,06 | 6,85 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 40 | -1,42 | -6,03 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 11 | 3,34 | 6,22 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 41 | 1,23 | -6,40 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 12 | 1,32 | 7,18 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 42 | 1,17 | -8,43 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 13 | 2,12 | 8,32 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 43 | -0,37 | -7,90 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,09 | 0,00 | 1,00 | |
| 14 | 5,03 | 8,74 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 44 | -2,35 | -7,15 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,11 | 0,00 | 1,00 | |
| 15 | 6,17 | 8,35 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 45 | -9,51 | 3,86 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 16 | 3,87 | 7,15 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 46 | -7,41 | 3,78 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 17 | 0,46 | 6,94 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 47 | -5,06 | 3,78 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 18 | 0,76 | 4,98 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 48 | -4,20 | 2,81 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 19 | -0,12 | 5,44 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 49 | -4,20 | 0,64 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 20 | -0,85 | 6,34 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 50 | -4,20 | -1,84 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 21 | 6,50 | -0,63 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | | 51 | -4,75 | -3,63 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 22 | 3,81 | 0,27 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,18 | 1,00 | 0,00 | | 52 | -6,79 | -3,78 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 23 | 2,90 | -0,81 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | | 53 | -9,14 | -3,63 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 24 | 5,95 | -2,28 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | | 54 | -9,88 | -0,19 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 25 | 5,89 | -0,51 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | | 55 | -8,83 | 2,13 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 26 | 4,92 | 0,18 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,18 | 1,00 | 0,00 | | 56 | -8,58 | -1,31 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 27 | 4,37 | -1,02 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | | 57 | -6,54 | 0,71 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 28 | 2,93 | -0,09 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,03 | 1,00 | 0,00 | | 58 | -6,73 | -1,99 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 29 | 2,79 | -1,41 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | | 59 | -5,25 | -0,64 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 30 | 4,54 | -2,88 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | | 60 | -9,51 | 3,86 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,05 | 1,00 | |

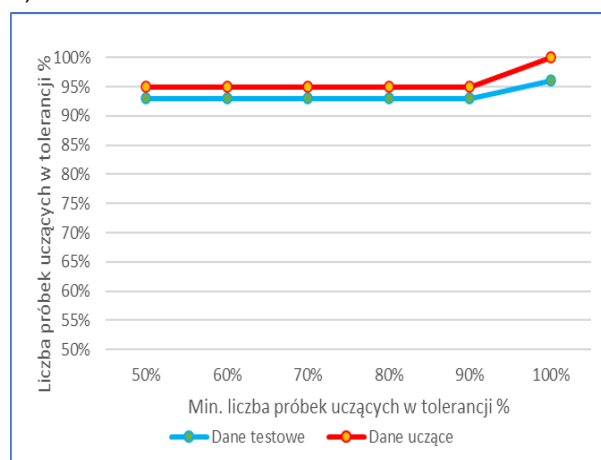
Wnioski:

Tabela 18. Procesy uczenia sieci neuronowej przy zadanej liczbie próbek danych uczących w tolerancji 0.2 i próbek danych testowych w tolerancji 0.2

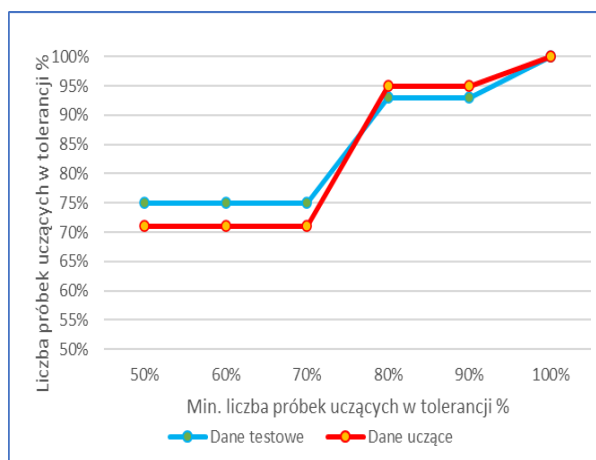
| Parametry: - tolerancja uczenia: 0.2 - tolerancja testowania: 0.2 - kolejność próbek: losowa | | | | | | |
|---|------------------------------------|---------------------|---|------|--|-----|
| Min. liczba próbek uczących w tolerancji | Liczba neuronów w warstwie ukrytej | Liczba epok uczenia | Ostateczna liczba próbek danych uczących w tolerancji | | Ostateczna liczba próbek danych testowych w tolerancji | |
| 50% | 0 | 1 | 115 | 95% | 56 | 93% |
| 60% | 0 | 1 | 115 | 95% | 56 | 93% |
| 70% | 0 | 1 | 115 | 95% | 56 | 93% |
| 80% | 0 | 1 | 115 | 95% | 56 | 93% |
| 90% | 0 | 1 | 115 | 95% | 56 | 93% |
| 100% | 0 | 5 | 120 | 100% | 58 | 96% |

| Parametry: - tolerancja uczenia: 0.2 - tolerancja testowania: 0.2 - kolejność próbek: kolejno wg numeracji w zbiorze danych | | | | | | |
|--|------------------------------------|---------------------|---|------|--|------|
| Min. liczba próbek uczących w tolerancji | Liczba neuronów w warstwie ukrytej | Liczba epok uczenia | Ostateczna liczba próbek danych uczących w tolerancji | | Ostateczna liczba próbek danych testowych w tolerancji | |
| 50% | 0 | 1 | 86 | 71% | 45 | 75% |
| 60% | 0 | 1 | 86 | 71% | 45 | 75% |
| 70% | 0 | 1 | 86 | 71% | 45 | 75% |
| 80% | 0 | 2 | 115 | 95% | 56 | 93% |
| 90% | 0 | 2 | 115 | 95% | 56 | 93% |
| 100% | 2 | 126 | 120 | 100% | 60 | 100% |

a)



b)



Rys. 14. Graficzna ilustracja wyników z tabeli 18: a) eksperymenty z włączoną losową kolejnością podawania próbek danych uczących i b) z wyłączoną.

Tabela 19. Zbiór numerycznych danych uczących i odpowiedzi sieci neuronowej najlepszego systemu z tabeli 18 (wyróżnionego pogrubioną czcionką):

| Lp. | Zbiór danych numerycznych | | | Odpowiedzi pożądane | | | Odpowiedzi rzeczywiste | | | |
|-----|---------------------------|-------|-------|---------------------|----|----|------------------------|------|------|--|
| | x1 | x2 | Klasa | y1 | y2 | y3 | y1 | y2 | y3 | |
| 1 | -7,38 | 8,59 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,12 | |
| 2 | -5,80 | 7,63 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 3 | -4,70 | 8,29 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 4 | -2,76 | 5,83 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 5 | -1,75 | 3,72 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 6 | 1,43 | 4,23 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 7 | 1,55 | 2,55 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,08 | 0,00 | |
| 8 | 0,38 | 1,95 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0,91 | 0,00 | 0,00 | |
| 9 | -0,40 | 1,77 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0,80 | 0,00 | 0,00 | |
| 10 | -0,08 | 5,08 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 11 | 1,47 | 6,73 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 12 | 2,58 | 7,03 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 13 | 0,76 | 7,69 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 14 | -1,32 | 8,23 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 15 | -1,58 | 7,12 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 16 | 1,25 | 5,95 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 17 | 3,51 | 7,81 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 18 | 4,08 | 7,96 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 19 | 5,18 | 7,15 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 20 | 3,80 | 5,77 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 21 | 3,50 | 5,53 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 22 | 2,33 | 4,95 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 23 | 0,85 | 5,11 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 24 | -1,02 | 6,49 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 25 | -2,05 | 6,04 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 26 | -3,76 | 6,91 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 27 | -4,38 | 6,61 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 28 | -4,08 | 5,65 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 29 | -2,61 | 4,08 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 30 | -1,77 | 3,24 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 31 | -0,10 | 3,69 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 32 | 0,44 | 4,50 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 33 | 1,68 | 5,14 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 34 | 2,24 | 6,04 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 35 | 3,18 | 6,34 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 36 | 6,33 | 8,02 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,06 | 0,00 | |
| 37 | 7,32 | 8,98 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,12 | 0,00 | |
| 38 | 5,52 | 8,86 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 39 | 3,78 | 9,25 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 40 | 1,57 | 9,04 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 41 | 0,50 | -0,12 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 0,81 | 0,09 | |
| 42 | 1,08 | 0,42 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,16 | 0,86 | 0,00 | |
| 43 | 1,53 | -0,06 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,02 | 1,00 | 0,00 | |
| 44 | 1,62 | -0,69 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 45 | 3,31 | -0,21 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,03 | 1,00 | 0,00 | |
| 46 | 1,19 | -0,39 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 47 | 2,45 | 0,15 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,11 | 1,00 | 0,00 | |
| 48 | 2,61 | -0,75 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 49 | 2,86 | -1,26 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 50 | 3,18 | -1,80 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 51 | 3,44 | -2,07 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 52 | 3,93 | -2,43 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 53 | 5,11 | -1,80 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 54 | 5,65 | -0,75 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 55 | 6,76 | -1,02 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 56 | 7,15 | -2,16 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 57 | 7,15 | -3,12 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 58 | 7,15 | -4,11 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 59 | 6,34 | -4,68 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 60 | 5,71 | -4,77 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |

| Lp. | Zbiór danych numerycznych | | | Odpowiedzi pożądane | | | Odpowiedzi rzeczywiste | | | |
|-----|---------------------------|-------|-------|---------------------|----|----|------------------------|------|------|--|
| | x1 | x2 | Klasa | y1 | y2 | y3 | y1 | y2 | y3 | |
| 61 | 6,14 | -3,06 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 62 | 6,12 | -1,95 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 63 | 5,56 | -1,23 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 64 | 4,11 | -0,21 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,05 | 1,00 | 0,00 | |
| 65 | 4,15 | -0,87 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 66 | 4,40 | -1,53 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 67 | 4,56 | -2,28 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 68 | 4,77 | -3,36 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 69 | 5,00 | -4,05 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 70 | 5,73 | -3,87 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 71 | 6,57 | -3,33 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 72 | 6,83 | -2,49 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 73 | 6,68 | -2,04 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 74 | 7,39 | -1,53 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 75 | 7,90 | -1,53 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 76 | 8,03 | -1,95 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 77 | 8,03 | -2,73 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 78 | 8,03 | -3,27 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 79 | 8,03 | -3,90 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 80 | 7,98 | -5,77 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 81 | -2,54 | 0,27 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 82 | -1,68 | 0,18 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 83 | -1,21 | -0,57 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,08 | 1,00 | |
| 84 | -2,15 | -1,23 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 85 | -3,03 | -0,93 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 86 | -3,59 | -0,90 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 87 | -5,39 | -0,69 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 88 | -4,21 | -0,15 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 89 | -3,91 | 0,12 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 90 | -3,57 | 0,12 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 91 | -3,23 | -0,27 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 92 | -2,78 | -0,36 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 93 | -4,26 | 0,75 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,07 | 0,00 | 1,00 | |
| 94 | -5,15 | 0,39 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 95 | -5,61 | 0,09 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 96 | -5,31 | -0,45 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 97 | -4,60 | -1,05 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 98 | -4,71 | -2,46 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 99 | -6,10 | -3,09 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 100 | -6,44 | -3,27 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 101 | -6,79 | -3,15 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 102 | -7,36 | -2,19 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 103 | -7,47 | -2,07 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 104 | -7,41 | -2,85 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 105 | -7,21 | -3,54 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 106 | -6,51 | -4,23 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 107 | -6,23 | -4,32 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 108 | -5,52 | -3,87 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 109 | -5,78 | -1,47 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 110 | -6,23 | -1,26 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 111 | -7,08 | -0,03 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 112 | -7,11 | 0,33 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 113 | -7,68 | -0,06 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 114 | -7,84 | -0,93 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 115 | -7,84 | -1,62 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 116 | -7,84 | -2,28 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 117 | -8,11 | -3,93 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 118 | -8,29 | -4,56 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 119 | -8,41 | -4,62 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 120 | -8,44 | -4,77 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |

systemu z tabeli 18 (wyróżnionego pogrubioną czcionką):

| Lp. | Zbiór danych numerycznych | | | Odpowiedzi pożądane | | | | Odpowiedzi rzeczywiste | | | | Lp. | Zbiór danych numerycznych | | | Odpowiedzi pożądane | | | | Odpowiedzi rzeczywiste | | | |
|-----|---------------------------|-------|-------|---------------------|----|----|--|------------------------|------|------|--|-----|---------------------------|-------|-------|---------------------|----|----|--|------------------------|------|------|--|
| | x1 | x2 | Klasa | y1 | y2 | y3 | | y1 | y2 | y3 | | | x1 | x2 | Klasa | y1 | y2 | y3 | | y1 | y2 | y3 | |
| 1 | 0,26 | 2,52 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 31 | 6,06 | -3,69 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 2 | -0,35 | 4,86 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 32 | 8,50 | -3,15 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 3 | -2,51 | 5,68 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 33 | 7,75 | -4,59 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 4 | -2,12 | 6,49 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 34 | 6,75 | -4,20 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 5 | -1,71 | 4,02 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 35 | 6,37 | -2,73 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 6 | -3,20 | 4,17 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,04 | | 36 | 5,76 | -1,71 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 7 | -4,48 | 7,33 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 37 | 4,87 | -1,56 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 8 | -2,34 | 8,44 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 38 | 5,20 | -0,63 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 9 | 2,93 | 7,30 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 39 | 5,03 | -0,33 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,04 | 1,00 | 0,00 | |
| 10 | 5,06 | 6,85 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 40 | 4,17 | -0,30 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,03 | 1,00 | 0,00 | |
| 11 | 3,34 | 6,22 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 41 | -3,34 | -0,90 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 12 | 1,32 | 7,18 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 42 | -5,01 | -0,48 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 13 | 2,12 | 8,32 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 43 | -4,15 | 0,72 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,07 | 0,00 | 1,00 | |
| 14 | 5,03 | 8,74 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 44 | -2,43 | 0,63 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,10 | 0,00 | 1,00 | |
| 15 | 6,17 | 8,35 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 45 | -2,21 | -0,30 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 16 | 3,87 | 7,15 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 46 | -4,26 | -1,38 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 17 | 0,46 | 6,94 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 47 | -5,67 | -1,77 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 18 | 0,76 | 4,98 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 48 | -7,25 | -0,69 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 19 | -0,12 | 5,44 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 49 | -7,67 | -1,86 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 20 | -0,85 | 6,34 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 50 | -7,31 | -2,85 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 21 | 6,50 | -0,63 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,01 | 1,00 | 0,00 | | 51 | -7,65 | -2,47 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 22 | 3,81 | 0,27 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,22 | 1,00 | 0,00 | | 52 | -7,47 | -2,27 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 23 | 2,90 | -0,81 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | | 53 | -4,56 | -2,16 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 24 | 5,95 | -2,28 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | | 54 | -5,17 | -3,06 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 25 | 5,89 | -0,51 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,02 | 1,00 | 0,00 | | 55 | -5,92 | -1,29 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 26 | 4,92 | 0,18 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,24 | 1,00 | 0,00 | | 56 | -6,01 | 0,15 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 27 | 4,37 | -1,02 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | | 57 | -5,28 | 0,45 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 28 | 2,93 | -0,09 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,05 | 1,00 | 0,00 | | 58 | -3,48 | 0,00 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 29 | 2,79 | -1,41 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | | 59 | -2,82 | -0,87 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 30 | 4,54 | -2,88 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | | 60 | -3,12 | -2,28 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |

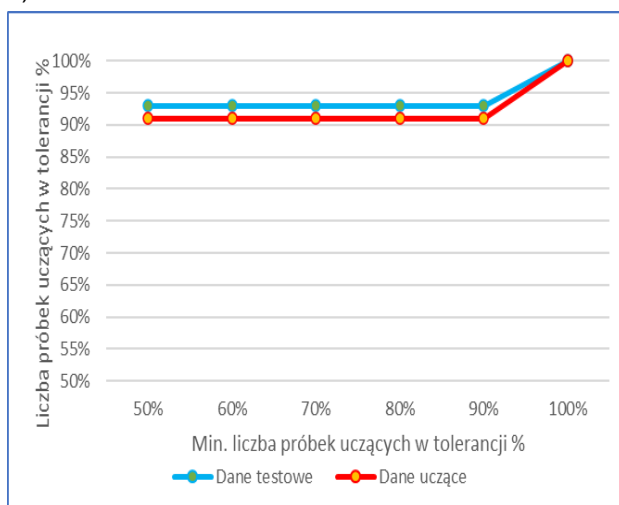
Wnioski:

Tabela 21. Procesy uczenia sieci neuronowej przy zadanej liczbie próbek danych uczących w tolerancji 0.1 i próbek danych testowych w tolerancji 0.2

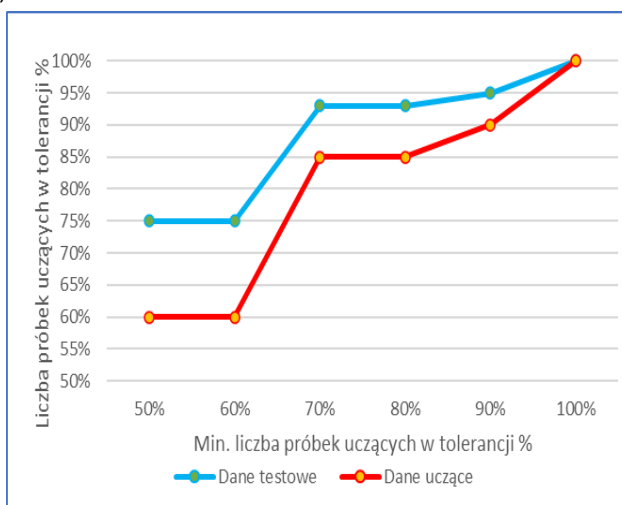
| Parametry: - tolerancja uczenia: 0.1 - tolerancja testowania: 0.2 - kolejność próbek: losowa | | | | | | |
|---|------------------------------------|---------------------|---|------|--|------|
| Min. liczba próbek uczących w tolerancji | Liczba neuronów w warstwie ukrytej | Liczba epok uczenia | Ostateczna liczba próbek danych uczących w tolerancji | | Ostateczna liczba próbek danych testowych w tolerancji | |
| 50% | 0 | 1 | 110 | 91% | 56 | 93% |
| 60% | 0 | 1 | 110 | 91% | 56 | 93% |
| 70% | 0 | 1 | 110 | 91% | 56 | 93% |
| 80% | 0 | 1 | 110 | 91% | 56 | 93% |
| 90% | 0 | 1 | 110 | 91% | 56 | 93% |
| 100% | 5 | 30 | 120 | 100% | 60 | 100% |

| Parametry: - tolerancja uczenia: 0.1 - tolerancja testowania: 0.2 - kolejność próbek: kolejno wg numeracji w zbiorze danych | | | | | | |
|--|------------------------------------|---------------------|---|------|--|------|
| Min. liczba próbek uczących w tolerancji | Liczba neuronów w warstwie ukrytej | Liczba epok uczenia | Ostateczna liczba próbek danych uczących w tolerancji | | Ostateczna liczba próbek danych testowych w tolerancji | |
| 50% | 0 | 1 | 72 | 60% | 45 | 75% |
| 60% | 0 | 1 | 72 | 60% | 45 | 75% |
| 70% | 0 | 2 | 103 | 85% | 56 | 93% |
| 80% | 0 | 2 | 103 | 85% | 56 | 93% |
| 90% | 0 | 4 | 108 | 90% | 57 | 95% |
| 100% | 5 | 106 | 120 | 100% | 60 | 100% |

a)



b)



Rys. 15. Graficzna ilustracja wyników z tabeli 21: a) eksperymenty z włączoną losową kolejnością podawania próbek danych uczących i b) z wyłączoną.

Tabela 22. Zbiór numerycznych danych uczących i odpowiedzi sieci neuronowej najlepszego systemu z tabeli 21 (wyróżnionego pogrubioną czcionką):

| Lp. | Zbiór danych numerycznych | | | Odpowiedzi pożądane | | | Odpowiedzi rzeczywiste | | | |
|-----|---------------------------|-------|-------|---------------------|----|----|------------------------|------|------|----|
| | x1 | x2 | Klasa | y1 | y2 | y3 | y1 | y2 | y3 | |
| 1 | -7,38 | 8,59 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0,98 | 0,00 | 0,01 | |
| 2 | -5,80 | 7,63 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,01 | 0,00 | |
| 3 | -4,70 | 8,29 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,01 | 0,00 | |
| 4 | -2,76 | 5,83 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,01 | 0,00 | |
| 5 | -1,75 | 3,72 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 6 | 1,43 | 4,23 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,01 | |
| 7 | 1,55 | 2,55 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0,95 | 0,07 | 0,00 | |
| 8 | 0,38 | 1,95 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0,96 | 0,03 | 0,01 | |
| 9 | -0,40 | 1,77 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0,94 | 0,02 | 0,04 | |
| 10 | -0,08 | 5,08 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 11 | 1,47 | 6,73 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,01 | |
| 12 | 2,58 | 7,03 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,01 | |
| 13 | 0,76 | 7,69 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 14 | -1,32 | 8,23 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,01 | 0,00 | |
| 15 | -1,58 | 7,12 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,01 | 0,00 | |
| 16 | 1,25 | 5,95 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,01 | |
| 17 | 3,51 | 7,81 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,02 | |
| 18 | 4,08 | 7,96 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,02 | |
| 19 | 5,18 | 7,15 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 20 | 3,80 | 5,77 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 21 | 3,50 | 5,53 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 22 | 2,33 | 4,95 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,01 | |
| 23 | 0,85 | 5,11 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 24 | -1,02 | 6,49 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,01 | 0,00 | |
| 25 | -2,05 | 6,04 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,01 | 0,00 | |
| 26 | -3,76 | 6,91 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,01 | 0,00 | |
| 27 | -4,38 | 6,61 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,01 | 0,00 | |
| 28 | -4,08 | 5,65 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0,99 | 0,01 | 0,00 | |
| 29 | -2,61 | 4,08 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0,99 | 0,00 | 0,00 | |
| 30 | -1,77 | 3,24 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0,99 | 0,00 | 0,01 | |
| 31 | -0,10 | 3,69 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 32 | 0,44 | 4,50 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 33 | 1,68 | 5,14 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,01 | |
| 34 | 2,24 | 6,04 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,01 | |
| 35 | 3,18 | 6,34 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,01 | |
| 36 | 6,33 | 8,02 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0,99 | 0,00 | 0,00 | |
| 37 | 7,32 | 8,98 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0,99 | 0,01 | 0,00 | |
| 38 | 5,52 | 8,86 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,02 | |
| 39 | 3,78 | 9,25 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,02 | |
| 40 | 1,57 | 9,04 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 41 | 0,50 | -0,12 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 0,91 | 0,10 | |
| 42 | 1,08 | 0,42 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,09 | 0,92 | 0,00 | |
| 43 | 1,53 | -0,06 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,01 | 1,00 | 0,00 | |
| 44 | 1,62 | -0,69 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,02 | |
| 45 | 3,31 | -0,21 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,01 | 1,00 | 0,00 | |
| 46 | 1,19 | -0,39 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,03 | |
| 47 | 2,45 | 0,15 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,03 | 0,99 | 0,00 | |
| 48 | 2,61 | -0,75 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 49 | 2,86 | -1,26 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 50 | 3,18 | -1,80 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 51 | 3,44 | -2,07 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 52 | 3,93 | -2,43 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 53 | 5,11 | -1,80 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 54 | 5,65 | -0,75 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,01 | 1,00 | 0,00 | |
| 55 | 6,76 | -1,02 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 56 | 7,15 | -2,16 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 57 | 7,15 | -3,12 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 58 | 7,15 | -4,11 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 59 | 6,34 | -4,68 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 60 | 5,71 | -4,77 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,01 | |
| | | | | | | | | | | |
| Lp. | Zbiór danych numerycznych | | | Odpowiedzi pożądane | | | Odpowiedzi rzeczywiste | | | |
| | x1 | x2 | Klasa | y1 | y2 | y3 | y1 | y2 | y3 | y4 |
| 61 | 6,06 | -3,69 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 62 | 8,50 | -3,15 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 63 | 7,75 | -4,59 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 64 | 6,75 | -4,20 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,02 | 0,99 | 0,00 | |
| 65 | 6,37 | -2,73 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 66 | 5,76 | -1,71 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 67 | 4,87 | -1,56 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 68 | 5,20 | -0,63 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 69 | 5,03 | -0,33 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,01 | |
| 70 | 4,17 | -0,30 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 71 | -3,34 | -0,90 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 72 | -5,01 | -0,48 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 73 | -4,15 | 0,72 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 74 | -2,43 | 0,63 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 75 | -2,21 | -0,30 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 76 | -4,26 | -1,38 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 77 | -5,67 | -1,77 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 78 | -7,25 | -0,69 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 79 | -7,67 | -1,86 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 80 | -7,31 | -2,85 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 81 | -7,65 | -2,47 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,03 | 0,00 | 0,99 | |
| 82 | -7,47 | -2,27 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,05 | 0,00 | 0,96 | |
| 83 | -4,56 | -2,16 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,10 | 0,95 | |
| 84 | -5,17 | -3,06 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,04 | 0,99 | |
| 85 | -5,92 | -1,29 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 86 | -6,01 | 0,15 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 87 | -5,28 | 0,45 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 88 | -3,48 | 0,00 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 89 | -2,82 | -0,87 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,01 | 0,00 | 1,00 | |
| 90 | -3,12 | -2,28 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,01 | 0,00 | 1,00 | |
| 91 | 6,06 | -3,69 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 92 | 8,50 | -3,15 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 93 | 7,75 | -4,59 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,04 | 0,00 | 0,98 | |
| 94 | 6,75 | -4,20 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,01 | 0,00 | 1,00 | |
| 95 | 6,37 | -2,73 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 96 | 5,76 | -1,71 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 97 | 4,87 | -1,56 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 98 | 5,20 | -0,63 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 99 | 5,03 | -0,33 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 100 | 4,17 | -0,30 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 101 | -3,34 | -0,90 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 102 | -5,01 | -0,48 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 103 | -4,15 | 0,72 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 104 | -2,43 | 0,63 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 105 | -2,21 | -0,30 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 106 | -4,26 | -1,38 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 107 | -5,67 | -1,77 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 108 | -7,25 | -0,69 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 109 | -7,67 | -1,86 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 110 | -7,31 | -2,85 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 111 | -7,65 | -2,47 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 112 | -7,47 | -2,27 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 113 | -4,56 | -2,16 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 114 | -5,17 | -3,06 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 115 | -5,92 | -1,29 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 116 | -6,01 | 0,15 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 117 | -5,28 | 0,45 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 118 | -3,48 | 0,00 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 119 | -2,82 | -0,87 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 120 | -3,12 | -2,28 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |

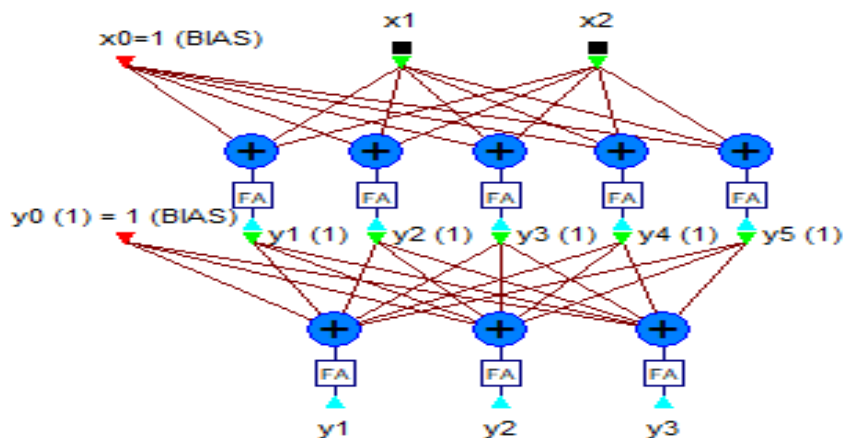
systemu z tabeli 21 (wyróżnionego pogrubioną czcionką):

| Lp. | Zbiór danych numerycznych | | | Odpowiedzi pożądane | | | | Odpowiedzi rzeczywiste | | | | Lp. | Zbiór danych numerycznych | | | Odpowiedzi pożądane | | | | Odpowiedzi rzeczywiste | | | |
|-----|---------------------------|-------|-------|---------------------|----|----|--|------------------------|------|------|--|-----|---------------------------|-------|-------|---------------------|----|----|--|------------------------|------|------|--|
| | x1 | x2 | Klasa | y1 | y2 | y3 | | y1 | y2 | y3 | | | x1 | x2 | Klasa | y1 | y2 | y3 | | y1 | y2 | y3 | |
| 1 | 0,26 | 2,52 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 0,99 | 0,00 | 0,01 | | 31 | 6,06 | -3,69 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 2 | -0,35 | 4,86 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 32 | 8,50 | -3,15 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 3 | -2,51 | 5,68 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,01 | 0,00 | | 33 | 7,75 | -4,59 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 4 | -2,12 | 6,49 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,01 | 0,00 | | 34 | 6,75 | -4,20 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 5 | -1,71 | 4,02 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,01 | 0,00 | | 35 | 6,37 | -2,73 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 6 | -3,20 | 4,17 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 0,98 | 0,00 | 0,02 | | 36 | 5,76 | -1,71 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 7 | -4,48 | 7,33 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,01 | 0,00 | | 37 | 4,87 | -1,56 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | |
| 8 | -2,34 | 8,44 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,01 | 0,00 | | 38 | 5,20 | -0,63 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,01 | 1,00 | 0,00 | |
| 9 | 2,93 | 7,30 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,02 | | 39 | 5,03 | -0,33 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,02 | 0,99 | 0,00 | |
| 10 | 5,06 | 6,85 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 40 | 4,17 | -0,30 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,02 | 1,00 | 0,00 | |
| 11 | 3,34 | 6,22 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,01 | | 41 | -3,34 | -0,90 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 12 | 1,32 | 7,18 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 42 | -5,01 | -0,48 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 13 | 2,12 | 8,32 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,01 | | 43 | -4,15 | 0,72 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,04 | 0,00 | 0,98 | |
| 14 | 5,03 | 8,74 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,02 | | 44 | -2,43 | 0,63 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,06 | 0,00 | 0,96 | |
| 15 | 6,17 | 8,35 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,01 | | 45 | -2,21 | -0,30 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 16 | 3,87 | 7,15 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,02 | | 46 | -4,26 | -1,38 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 17 | 0,46 | 6,94 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 47 | -5,67 | -1,77 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 18 | 0,76 | 4,98 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 48 | -7,25 | -0,69 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 19 | -0,12 | 5,44 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 | | 49 | -7,67 | -1,86 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 20 | -0,85 | 6,34 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1,00 | 0,01 | 0,00 | | 50 | -7,31 | -2,85 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 21 | 6,50 | -0,63 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,01 | 1,00 | 0,00 | | 51 | -7,65 | -2,47 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 22 | 3,81 | 0,27 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,06 | 0,97 | 0,00 | | 52 | -7,47 | -2,27 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 23 | 2,90 | -0,81 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | | 53 | -4,56 | -2,16 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 24 | 5,95 | -2,28 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | | 54 | -5,17 | -3,06 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 25 | 5,89 | -0,51 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,02 | 0,99 | 0,00 | | 55 | -5,92 | -1,29 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 26 | 4,92 | 0,18 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,07 | 0,97 | 0,00 | | 56 | -6,01 | 0,15 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 27 | 4,37 | -1,02 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | | 57 | -5,28 | 0,45 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,01 | 0,00 | 0,99 | |
| 28 | 2,93 | -0,09 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,02 | 1,00 | 0,00 | | 58 | -3,48 | 0,00 | 3 | 0 | 0 | 1 | | 0,01 | 0,00 | 1,00 | |
| 29 | 2,79 | -1,41 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | | 59 | -2,82 | -0,87 | 3 | 0 | 0 | 0 | | 0,00 | 0,00 | 1,00 | |
| 30 | 4,54 | -2,88 | 2 | 0 | 1 | 0 | | 0,00 | 1,00 | 0,00 | | 60 | -3,12 | -2,28 | 3 | 0 | 0 | 0 | | 0,00 | 0,04 | 0,99 | |

Wnioski:

Ad. 6. Analiza funkcjonowania najlepszego systemu z pkt 5

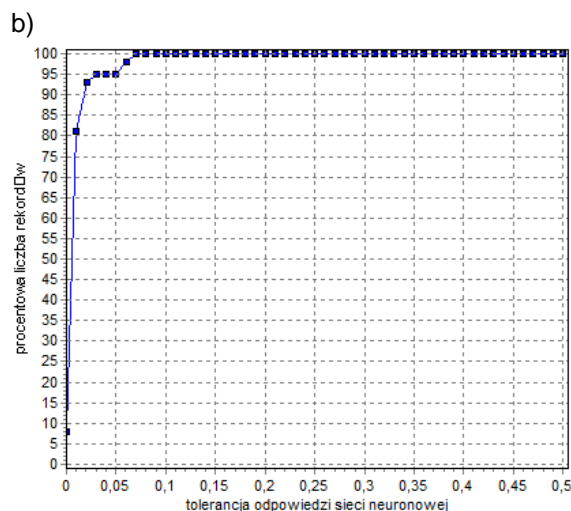
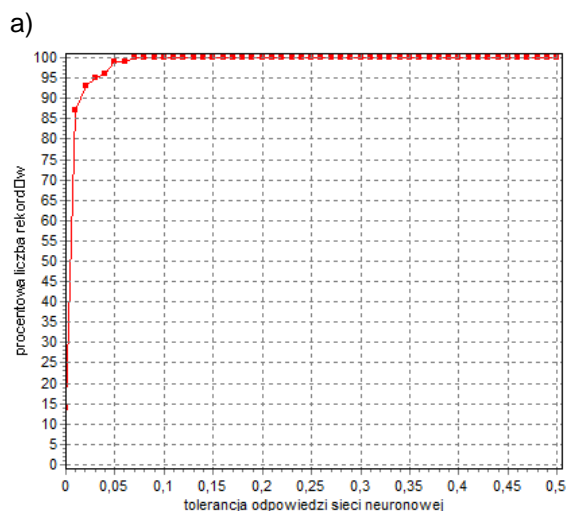
Do analizy funkcjonowania systemu wybrano sieć neuronową będącą rezultatem najlepszego procesu uczenia przedstawionego z tabeli 21 (wyróżniony pogrubioną czcionką). Odpowiedzi systemu dla danych uczących i testowych są przedstawione, odpowiednio w tabeli 22 i 23. Struktura sieci neuronowej została przedstawiona na rys. 16. W tabeli 24 i na rys. 17-19 przedstawiono dodatkowe informacje dotyczące systemu. W tabeli 25 przedstawiono odpowiedzi sieci neuronowej na wybrane próbki danych weryfikujących.



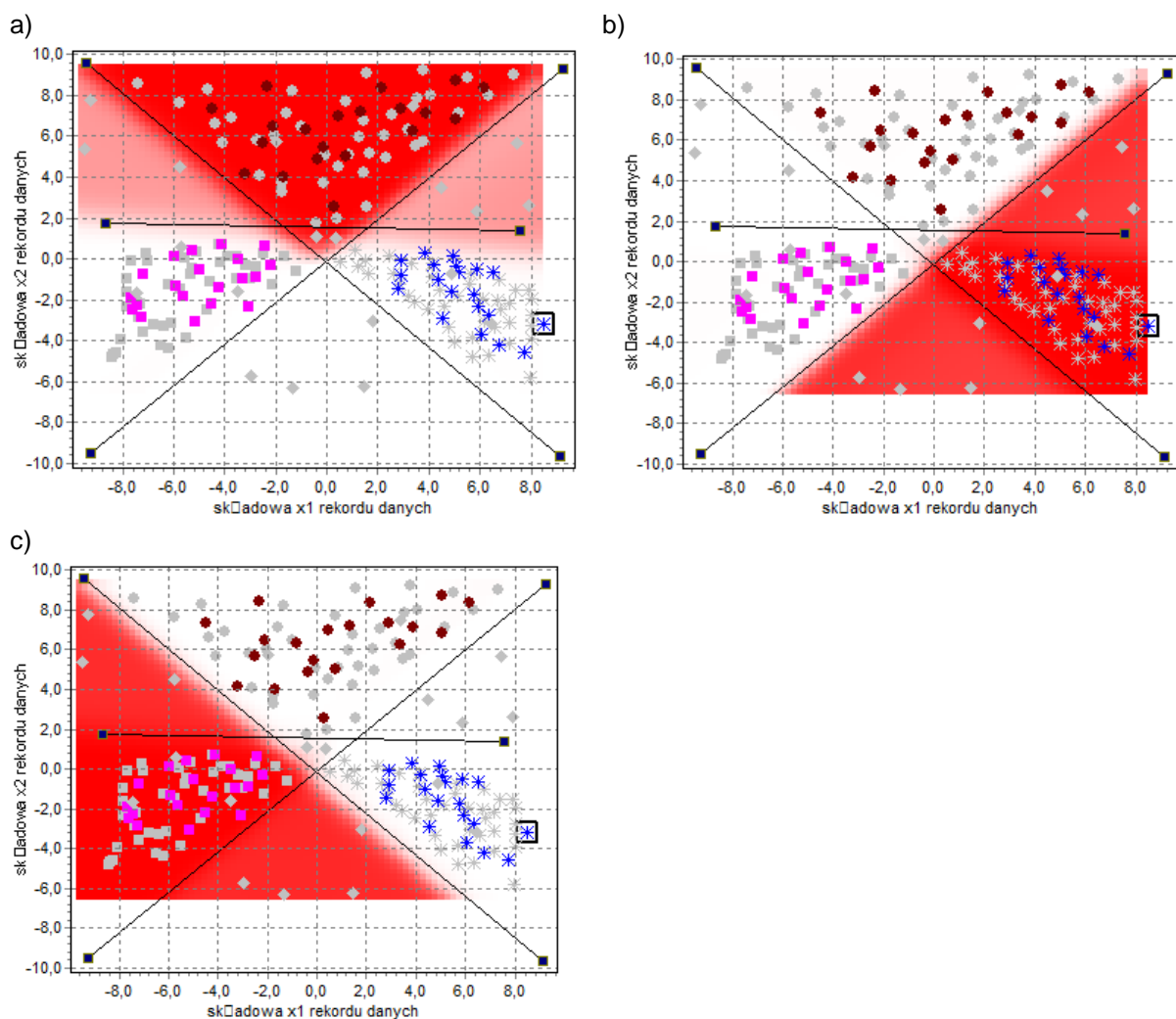
Rys. 16. Struktura sieci neuronowej.

Tabela 24. Parametry procesu uczenia sieci neuronowej (algorytm wstecznej propagacji błędów)

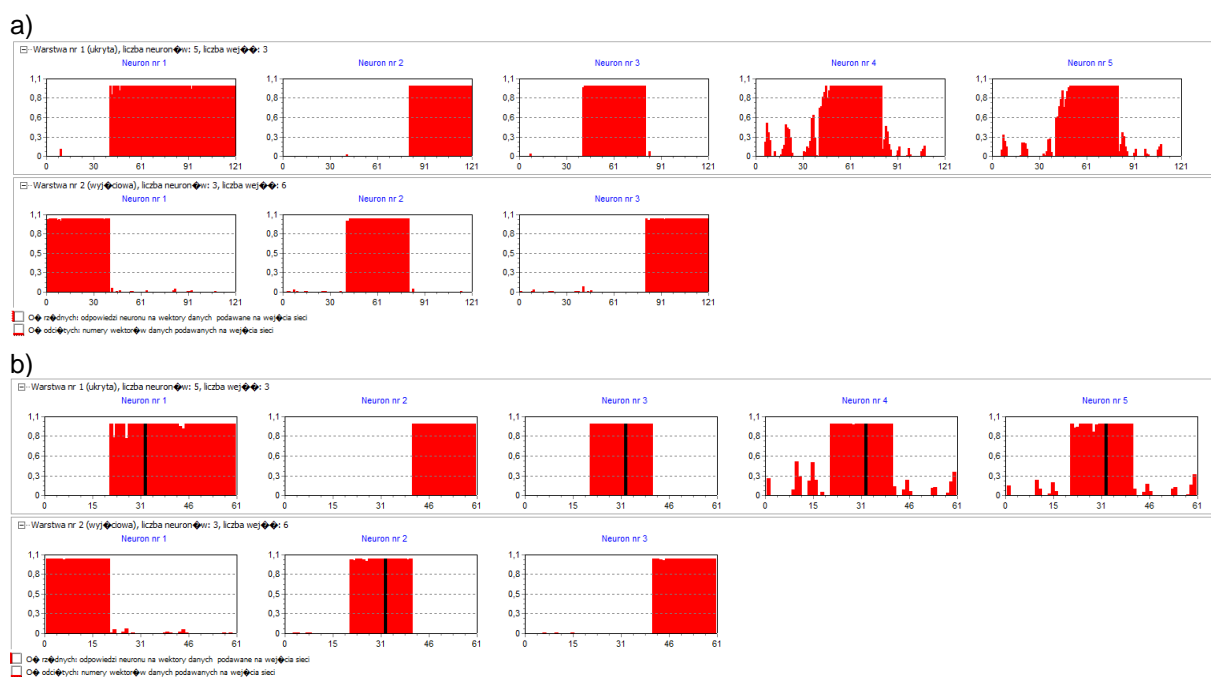
| Lp. | Najważniejsze parametry procesu uczenia | Przebieg błędów uczenia / testowania | Wyniki uczenia |
|-----|---|--------------------------------------|--|
| 1 | Współczynnik uczenia: 0.6 | | Błąd uczenia / testowania: 0.0145 / 0.0116 |
| | Współczynnik momentu: 0.7 | | Liczba próbek danych uczących / testowych w tolerancji 0.1 / 0.3: 120 (100%) / 60 (100%) |
| | Aktualizacja wag: po iteracji | | |
| | Kolejność próbek: losowa | | |
| | Liczba epok: 30 | | |



Rys. 17. Liczba próbek danych uczących (a) i testowych (b), dla których odpowiedź sieci mieści się w tolerancji po zakończeniu procesu uczenia z tabeli 24.



Rys. 18. Obszary aktywności neuronów nr 1 (a), 2 (b) i 3 (c)



Rys. 19. Poziomy aktywności neuronów sieci neuronowej dla wszystkich próbek danych uczących (a) i testowych (b)

a)

| Lp. | Zbiór danych | | Odpowiedzi rzeczywiste | | | |
|-----|--------------|------|------------------------|------|------|--|
| | x1 | x2 | y1 | y2 | y3 | |
| 1 | 7,45 | 5,68 | 0,06 | 0,98 | 0,00 | |
| 2 | 7,92 | 2,64 | 0,06 | 0,98 | 0,00 | |
| 3 | 5,87 | 2,34 | 0,06 | 0,98 | 0,00 | |
| 4 | 4,48 | 3,48 | 0,06 | 0,97 | 0,00 | |

