

POLITECHNIKA POZNAŃSKA
WYDZIAŁ ELEKTRYCZNY
INSTYTUT AUTOMATYKI I INŻYNIERII INFORMATYCZNEJ

Wojciech Błażejowski

PRACA DYPLOMOWA INŻYNIERKSA

**PORÓWNANIE SKUTECZNOŚCI WYBRANYCH
KLASYFIKATORÓW W ZADANIU ROZPOZNAWANIA LIŚCI**

Promotor dr inż. Tomasz Piaścik

Poznań 2013

Spis treści

WSTĘP.....	3
1.Cel i zakres pracy.....	4
2.Opis kształtu za pomocą momentów Zernike.....	5
3.Klasyfikacja.....	6
4.Baza danych obiektów.....	7
5.Metody klasyfikacji LDA i QDA.....	9
5.1.Liniowa analiza dyskryminacyjna (LDA).....	10
5.2.Kwadratowa analiza dyskryminacyjna (QDA).....	11
6.Metody klasyfikacji NN.....	12
6.1.Odmiana V-kNN.....	13
6.2.Odmiana V-kNCN.....	13
7.Perceptron wielowarstwowy.....	14
7.1.Model perceptronu prostego	14
7.2.Narzędzia.....	15
8.Definicja przeprowadzanych badań.....	17
9.Wyniki rozpoznawania liści metodą LDA,QDA.....	19
10.Wyniki rozpoznawania liści metodami NN.....	21
11.Wyniki rozpoznawania liści perceptronem wielowarstwowym.....	23
11.1.Problem dziesięcioklasowy dla sieci z 1 warstwą ukrytą.....	23
11.2.Problem dziesięcioklasowy dla sieci z 2 warstwami ukrytymi.....	24
11.3.Problemy pięcioklasowe dla sieci z 1 warstwą ukrytą, 11 i 25 neuronów.....	25
11.4.Problemy pięcioklasowe dla sieci z 2 warstwami ukrytymi.....	27
12.Opisanie badania porównującego.....	29
12.1.Wybór wektora cech.....	29
12.2.Założenia eksperymentu porównującego.....	29
13.Wyniki porównania klasyfikatorów.....	30
13.1.Problem 10 klasowy.....	30
13.2.Problemy 5 klasowe.....	31
14.Wnioski i zakończenie.....	32
Bibliografia.....	34
Spis rysunków.....	35
Spis tabel.....	36

WSTĘP

Badania dotyczące zagadnienia klasyfikacji liści drzew są prowadzone w Instytucie Automatyki i Inżynierii Informatycznej PP od kilku lat. Liście jako obiekty naturalne, nie wytworzone przez człowieka, charakteryzują się dużą zmiennością tak wewnątrzgatunkową jak i międzygatunkową. Taka różnorodność obiektów stanowi wyzwanie dla nowoczesnych systemów rozpoznawania opartych na informacji wizualnej. Zgromadzone dane umożliwiają prowadzenie badań nad różnymi metodami opisu obiektów jak i testowaniem szeregu metod klasyfikacji. Mając już wcześniej kontakt z rozpoznawaniem obrazów liści drzew za pomocą sygnatur, uznałem temat niniejszej pracy za dobrą sposobność zapoznania się z zagadnieniem klasyfikacji jak i poszerzenia swojej wiedzy na temat systemów rozpoznawania obrazów.

1. Cel i zakres pracy

Głównym celem niniejszej pracy jest porównanie skuteczności wybranych klasyfikatorów w zadaniu rozpoznawania liści. Liście te zostały zebrane i sfotografowane tworząc bazę 5000 ujęć dla 10 gatunków drzew (po 500 ujęć dla pojedynczego gatunku). Do porównań zostały użyte klasyfikatory statystyczne LDA, QDA, perceptron z jedną i dwoma warstwami ukrytymi oraz kilka wersji klasyfikatora najbliższego sąsiedztwa. Jako narzędzie badań wykorzystano implementacje poszczególnych klasyfikatorów powstałe w wyniku realizacji wcześniejszych prac. Implementacje tych klasyfikatorów zostały poddane odpowiednim modyfikacjom. Danymi wejściowymi klasyfikatorów są wektory cech w postaci momentów Zernike binarnych obrazów liści. Pozostałe parametry klasyfikatorów ustawiono tak by w miarę kompleksowo dokonać porównań klasyfikatorów wykorzystywanych do rozpoznawania. Wynik pracy miał odpowiedzieć na pytanie, który klasyfikator charakteryzuje się najwyższą skutecznością. Praca zawiera wyniki zebrane w postaci tabel oraz wykresy umożliwiające porównanie klasyfikatorów. Każdy klasyfikator został przetestowany pod kątem znalezienia dla niego optymalnych parametrów w zdefiniowanym na wstępie zadaniu klasyfikacji. Dotychczasowe badania koncentrowały się na problemach dwu, trój i czteroklasowych. W prezentowanej pracy rozpatrzono problem pięcio i dziesięcioklasowy. Testowanie klasyfikatorów zostało przeprowadzane dla zmian takich parametrów jak długość wektora cech oraz sposobu podziału zbioru danych na podzbiory treningowy i testowy.

2. Opis kształtu za pomocą momentów Zernike

Zastosowana w pracy metoda rozpoznawania liści opiera się na analizie ich kształtu. Dla binarnych obrazów liści zostały obliczone momenty Zernike. Wcześniejsze badania przeprowadzane w IAIiI PP pokazały, że momenty te dobrze opisują kształt obiektów stanowiąc odpowiednie źródło informacji do konstrukcji wektora cech w zadaniu klasyfikacji. Aplikacja obliczająca momenty wykorzystuje podejście rekurencyjne znacznie redukując czas obliczeń. Momenty Zernike to współczynniki rozwinięcia funkcji dwóch zmiennych rzeczywistych (w naszym przypadku funkcji obrazowej) względem zespolonych wielomianów Zernike. Wzory na pary rzeczywistych momentów Zernike są następujące [5]:

$$C_{nm} = \frac{2(n+1)}{\pi} \iint_{x^2+y^2 \leq 1} f(x,y) R_n^m(\rho) \cos(m\theta) dx dy$$

$$S_{nm} = \frac{2(n+1)}{\pi} \iint_{x^2+y^2 \leq 1} f(x,y) R_n^m(\rho) \sin(m\theta) dx dy$$

gdzie R_n^m jest wielomianem radialnym.

3. Klasyfikacja

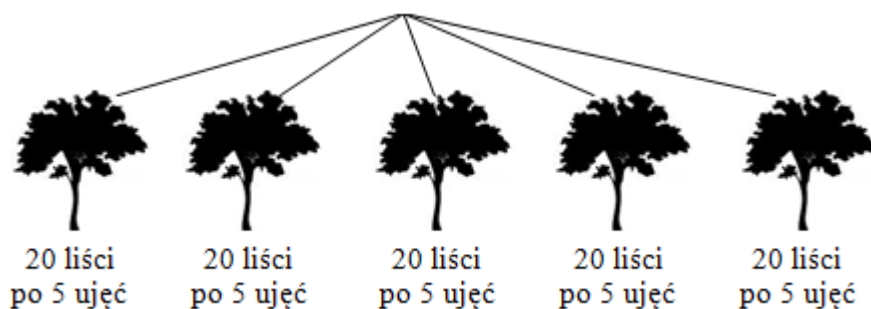
Definicja klasyfikacji jaką można znaleźć w słowniku współczesnego języka polskiego jest następująca [4]:

„podział różnych elementów rzeczywistości, np. przedmiotów czy zjawisk na grupy (klasy) według przyjętych wcześniej kryteriów (zasad); zaliczenie danego okazu do odpowiedniego typu, grupy; także ustalanie zasad podziału”

W tej pracy klasyfikacja jest rozumiana jako przydzielanie obiektu lub wzorca do zdefiniowanych wcześniej kategorii ze względu na charakteryzujący je zbiór cech. Pierwszą próbą klasyfikacji był podział organizmów żywych dokonany przez Karola Linneusza, którą znamy dzisiaj pod nazwą klasyfikacji biologicznej. Klasyfikacja poza systematyzowaniem podziału obiektów służy także do określenia cech nowego obiektu. Nowy obiekt jest przydzielany na podstawie swoich cech do już istniejącej klasy lub ze względu na zbyt duże różnice sam tworzy nową klasę. Badane klasyfikatory nie przewidują opcji stworzenia nowej klasy, więc nieznany obiekt zostanie błędnie przydzielony do jednej z już istniejących. Systemy klasyfikacji można podzielić na dwie grupy: systemy uczące się pod nadzorem (z nauczycielem) i systemy uczące się bez nadzoru (bez nauczyciela). W niniejszej pracy wykorzystywane będą wyłącznie systemy uczące się pod nadzorem. Uczenie z nadzorem polega na trenowaniu klasyfikatora przykładami przedstawicieli danej klasy, do których jest dołączona informacja o tym do jakiej klasy dany przedstawiciel należy. W ten sposób ilość klas rozróżnianych przez klasyfikator jest z góry ustalona. Zbiór przedstawicieli klas w procesie uczenia nazywamy danymi treningowymi (wzorcowymi, uczącymi), a dołączoną informację o klasie etykietą. Po przeprowadzeniu procesu uczenia klasyfikatora następuje proces testowania klasyfikatora obiektami nieznanymi wcześniej dla klasyfikatora (acz ze znaną dla badacza etykietą klasy), określanymi mianem danych testowych. Klasyfikator dla każdego z nich zwraca etykietę, której zgodność porównujemy ze stanem faktycznym. Skuteczność klasyfikatora określa ilość zwróconych etykiet zgodnych w stosunku do liczby danych testowych.

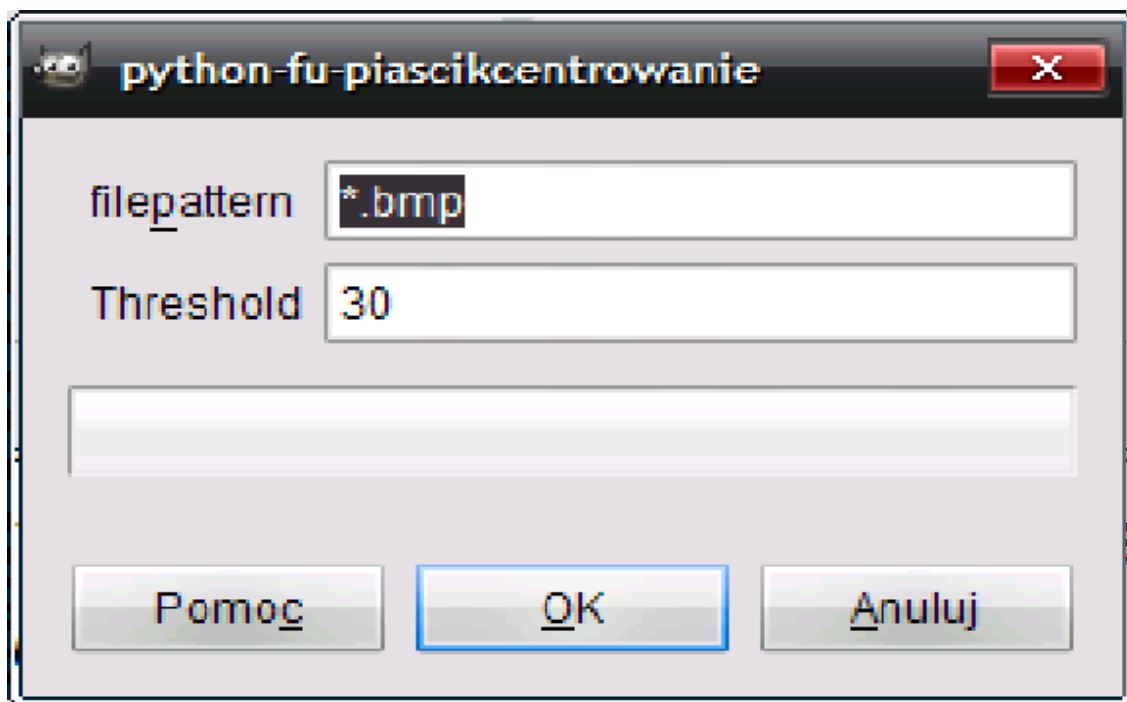
4. Baza danych obiektów

W przeprowadzonym eksperymencie posłużono się bazą danych zawierającą 5000 zdjęć liści 10 gatunków drzew. Część bazy danych (fizyczne obiekty i fotografie liści klonu, dębu i buku) została przygotowana w ramach realizacji pracy, zaś pozostała część (kolorowe fotografie liści pozostałych gatunków) stanowiła wynik wcześniejszych prac. W trakcie realizacji pracy wszystkie zdjęcia zostały znormalizowane – przetworzone na obrazy binarne formatu .bmp o rozmiarze 1280x960. Ostatecznie podstawowa baza danych zawiera obrazy liści należących do 10 gatunków drzew. Każdy gatunek jest reprezentowany przez 100 liści sfotografowanych w 5 różnych ujęciach. Liście każdego gatunku były zbierane z 5 różnych drzew, po 20 liści z każdego drzewa, co przedstawia rysunek [1] poniżej.



Rys. 4.1 Struktura bazy zdjęć liści każdego gatunku [1]

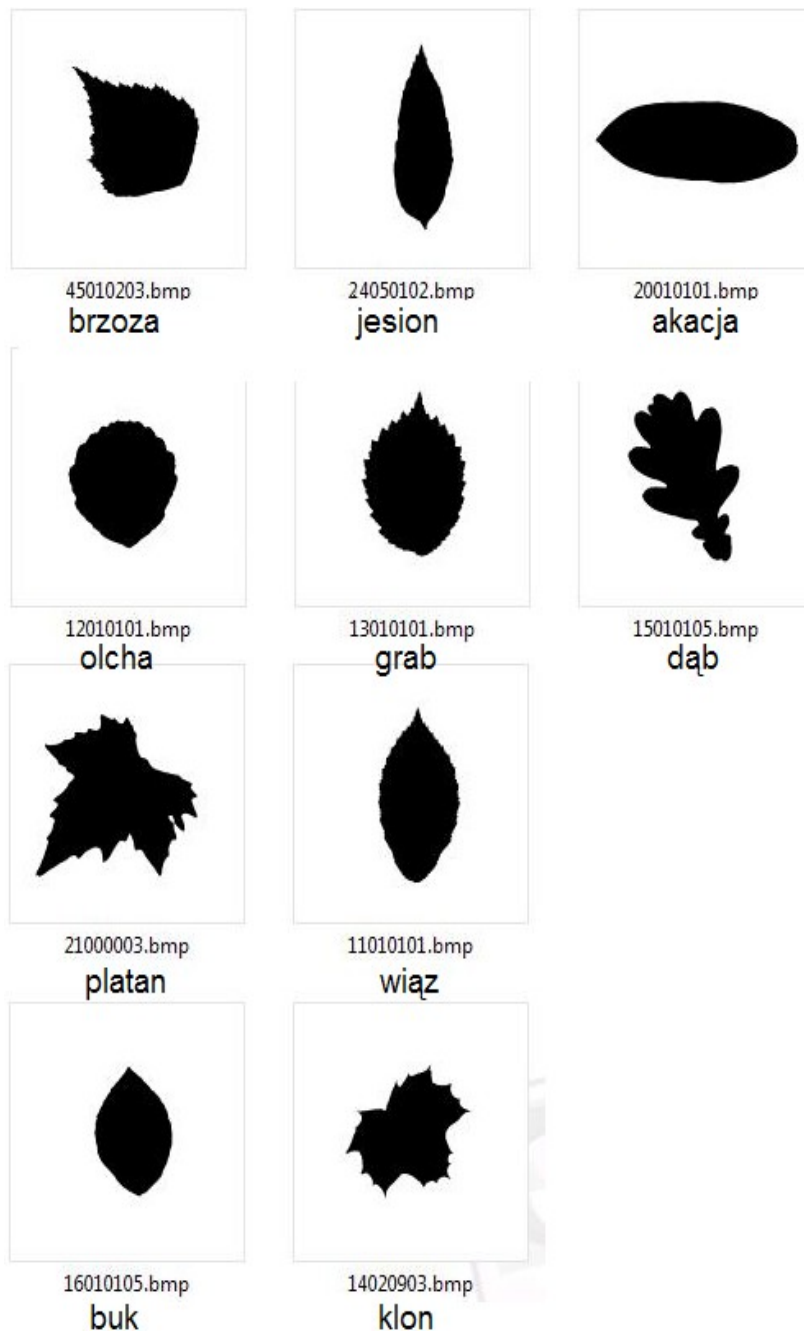
Do przetworzenia kolekcji zdjęć do postaci obrazów binarnych zastosowano program IrfanView oraz napisano skrypt do przetwarzania wsadowego oparty na wtyczce (plug-in) python-fu do programu Gimp dającą dostęp do jego interfejsu poprzez wywoływanie jego funkcji.



Rys. 4.2 Gimp wtyczka python-fu

Dla zgromadzonych 5000 zdjęć w formacie binarnym obliczono momenty Zernike do 30 rzędu. W ten sposób utworzono bazę danych opisującą obrazy liści, w której obiekty reprezentowane są za pomocą 256 momentów Zernike. Dwa pierwsze momenty nie są przydatne w procesie klasyfikacji (pierwszy z nich jest stały, drugi zaś wiąże się z polem powierzchni obiektu na obrazie). Zdjęcia w bazie danych są odpowiednio nazywane. Nazwa jest 8 cyfrowa i składa się z 4 grup dwucyfrowych definiujących od lewej numer: gatunku, drzewa, liścia i ujęcia.

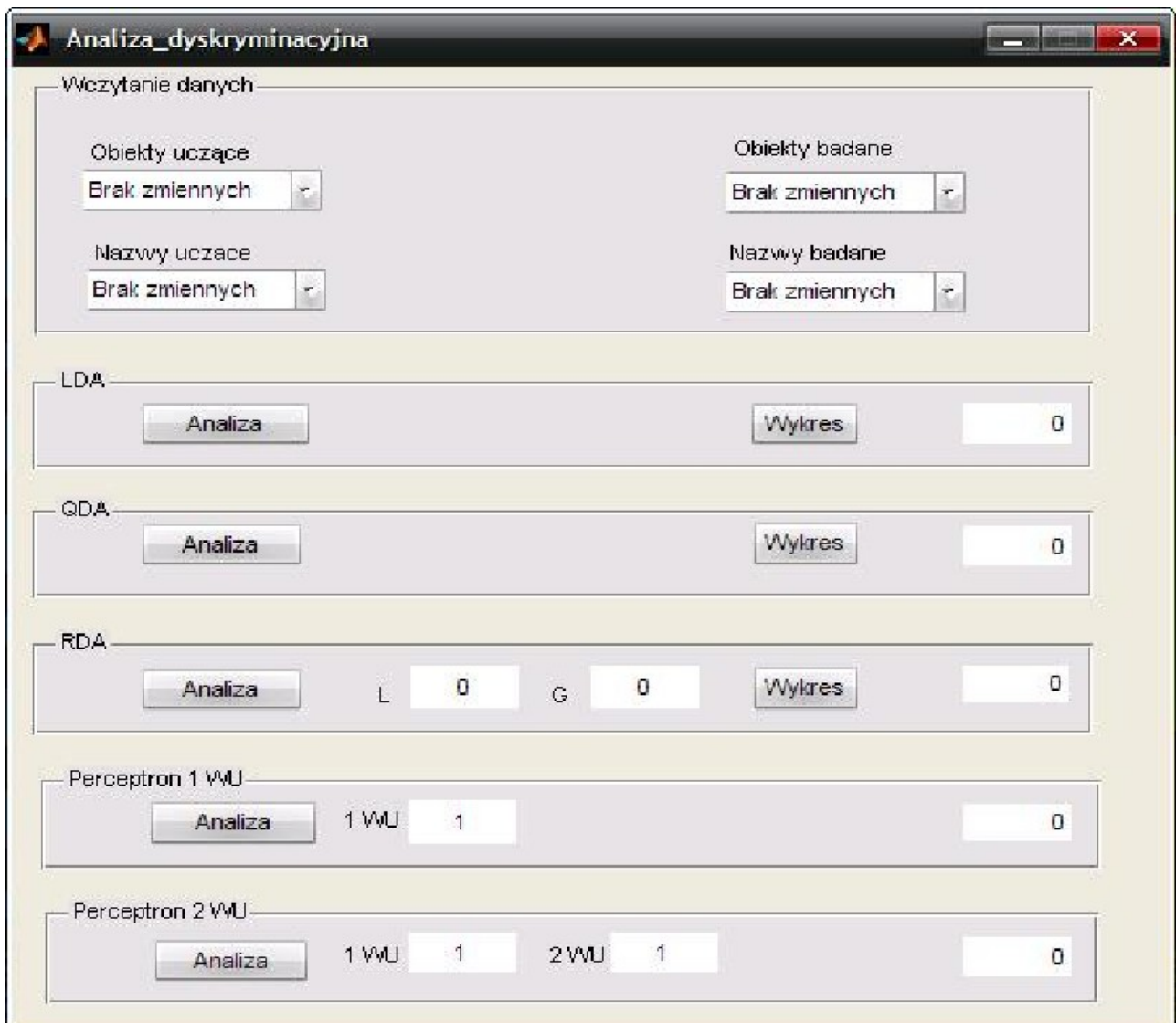
Liście zebranych gatunków i przykładowe nazwy plików wyglądają następująco:



Rys. 4.3 Przedstawiciele gatunków

5. Metody klasyfikacji LDA i QDA

Program do Analizy dyskryminacyjnej zawierający metody klasyfikacji LDA i QDA został zrealizowany w ramach pracy dyplomowej [3]. Jego interfejs graficzny wygląda następująco:

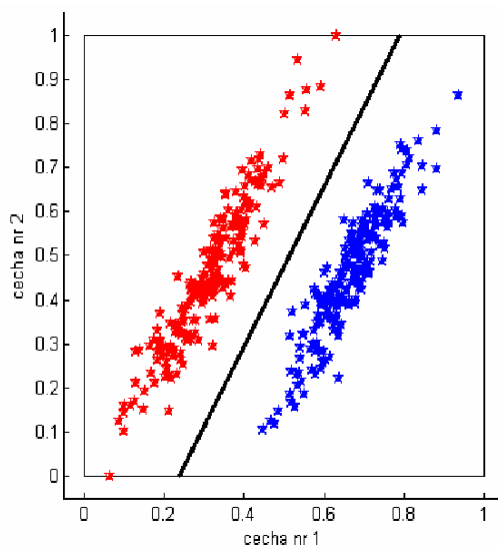


Rys. 5.1 Interfejs graficzny do analizy dyskryminacyjnej [3]

W pracy wykorzystano wyłącznie klasyfikację metodami LDA i QDA. Przedstawiony program jest nakładką graficzną do oprogramowania Matlab firmy MathWorks, a kod źródłowy podany jest w postaci skryptu. Ręczne wykonywanie wszystkich testów byłoby czasochłonne, toteż program został zdebugowany w celu przeanalizowania jego działania. Odpowiednie funkcje istniejącego kodu zostały sklejone co umożliwiło wywołanie testów w pętli. Wynikiem działania tak przygotowanej aplikacji było obliczenie wartości skuteczności klasyfikatora dla zadeklarowanych parametrów.

5.1. Liniowa analiza dyskryminacyjna (LDA)

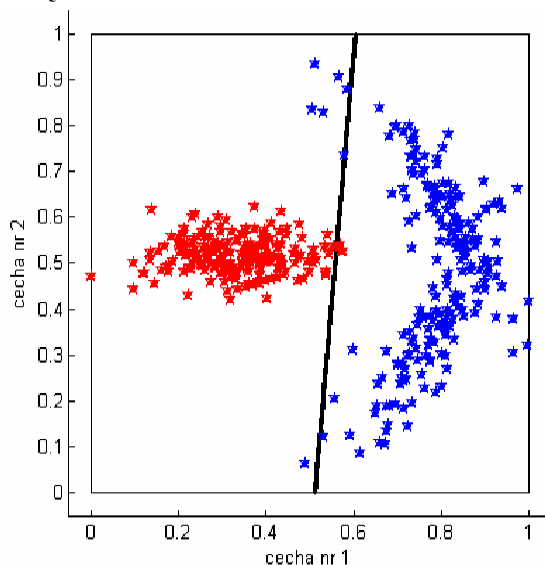
Przykładowa liniowa analiza dyskryminacyjna problemu dwuklasowego dla dwuwymiarowej przestrzeni cech może wyglądać następująco:



Rys. 5.2 Klasyfikator LDA, klasy separowalne [3]

Przedstawiciele klasy 1 to punkty czerwone, a klasy 2 to punkty niebieskie. Każdy przedstawiciel ma dwie cechy, których wartość jest opisana na osiach. Na rysunku widać hiperpłaszczyznę decyzyjną rozdzielającą przedstawicieli dwóch klas, która w przypadku dwóch cech przyjmuje uproszczoną postać linii prostej. Przedstawiciele 1 klasy są po lewej, a 2 po prawej, klasy są więc rozdzielone w 100%.

Przykład z rysunku niżej przedstawia natomiast takie rozłożenie przedstawicieli klas, które nie jest liniowo separowalne za pomocą LDA.

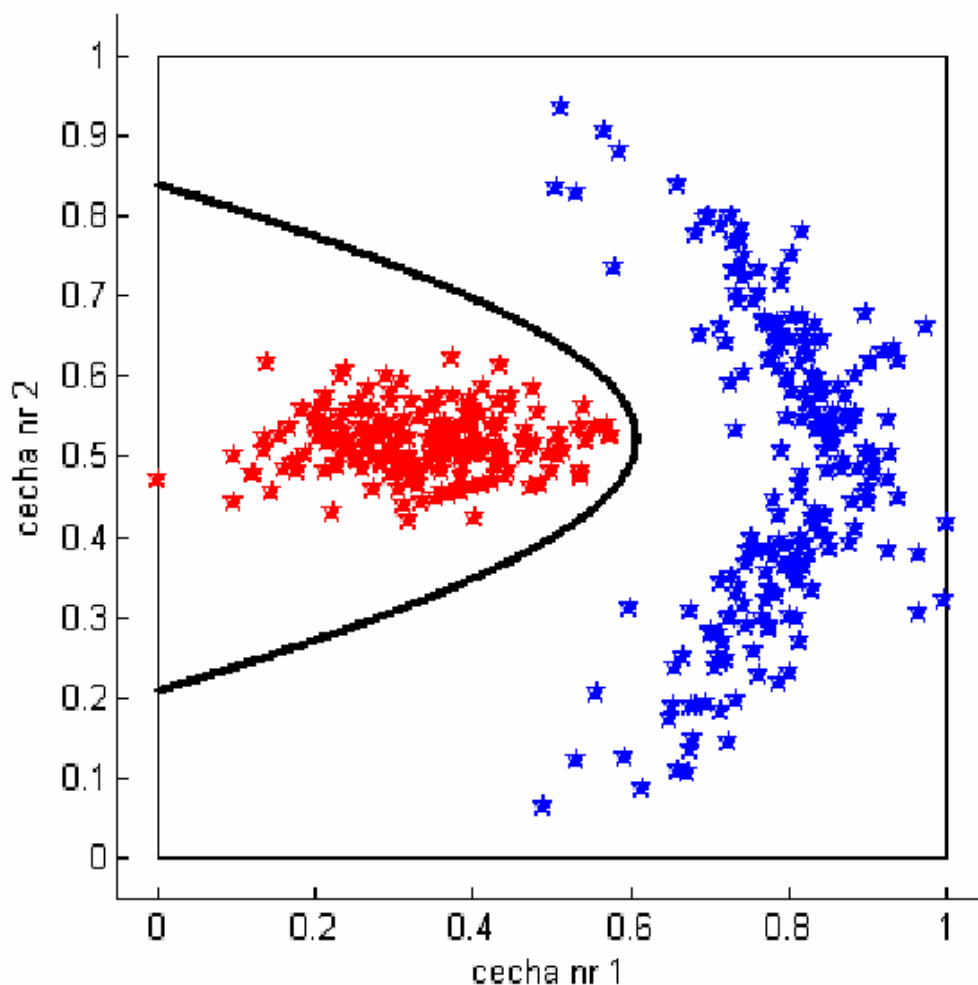


Rys. 5.3 Klasyfikator LDA, klasy nieseparowalne [3]

Nie istnieje więc linia prosta rozdzielająca klasy w 100%.

5.2. Kwadratowa analiza dyskryminacyjna (QDA)

Kwadratowa analiza dyskryminacyjna generuje granicę decyzyjną w postaci hiperpowierzchni drugiego stopnia. Poniższy przykład przedstawia taki sam rozkład przedstawicieli jak na rysunku 5.3.

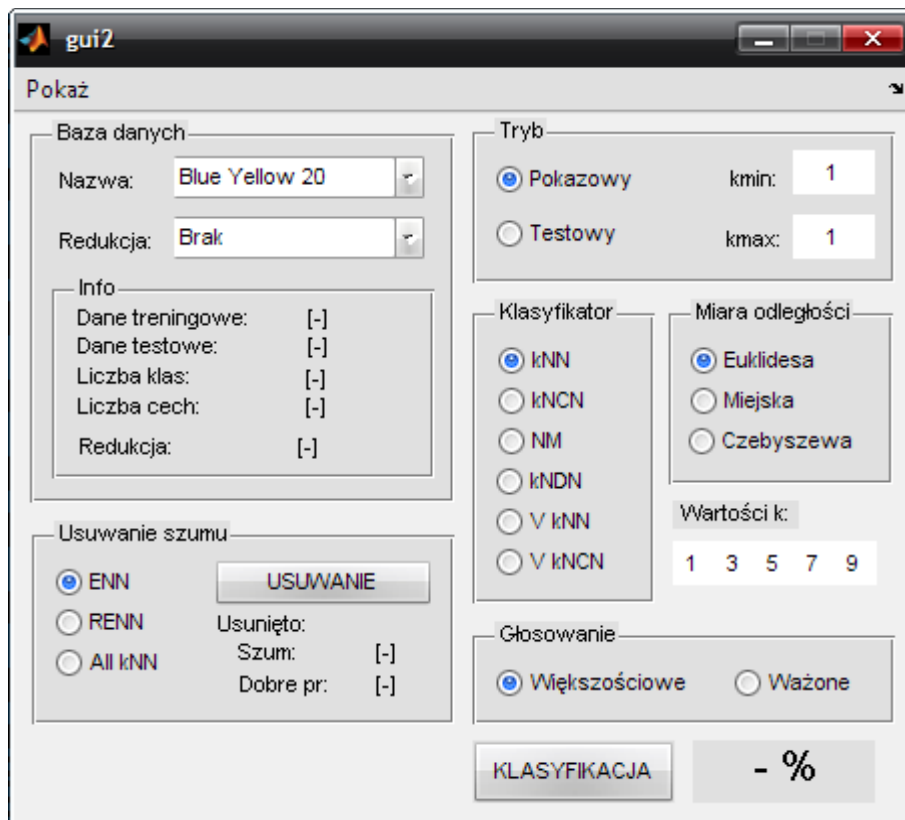


Rys. 5.4 Klasyfikator QDA, klasy separowalne [3]

Decyzyjna hiperpowierzchnia drugiego stopnia dla dwóch cech przyjmuje uproszczoną postać paraboli. Przedstawiciele klas są rozdzielni ze 100% skutecznością, co nie było wykonalne za pomocą LDA.

6. Metody klasyfikacji NN

Program realizujący 6 odmian klasyfikatorów najbliższego sąsiedztwa został zrealizowany w ramach pracy dyplomowej [2]. Jego interfejs graficzny wygląda następująco:

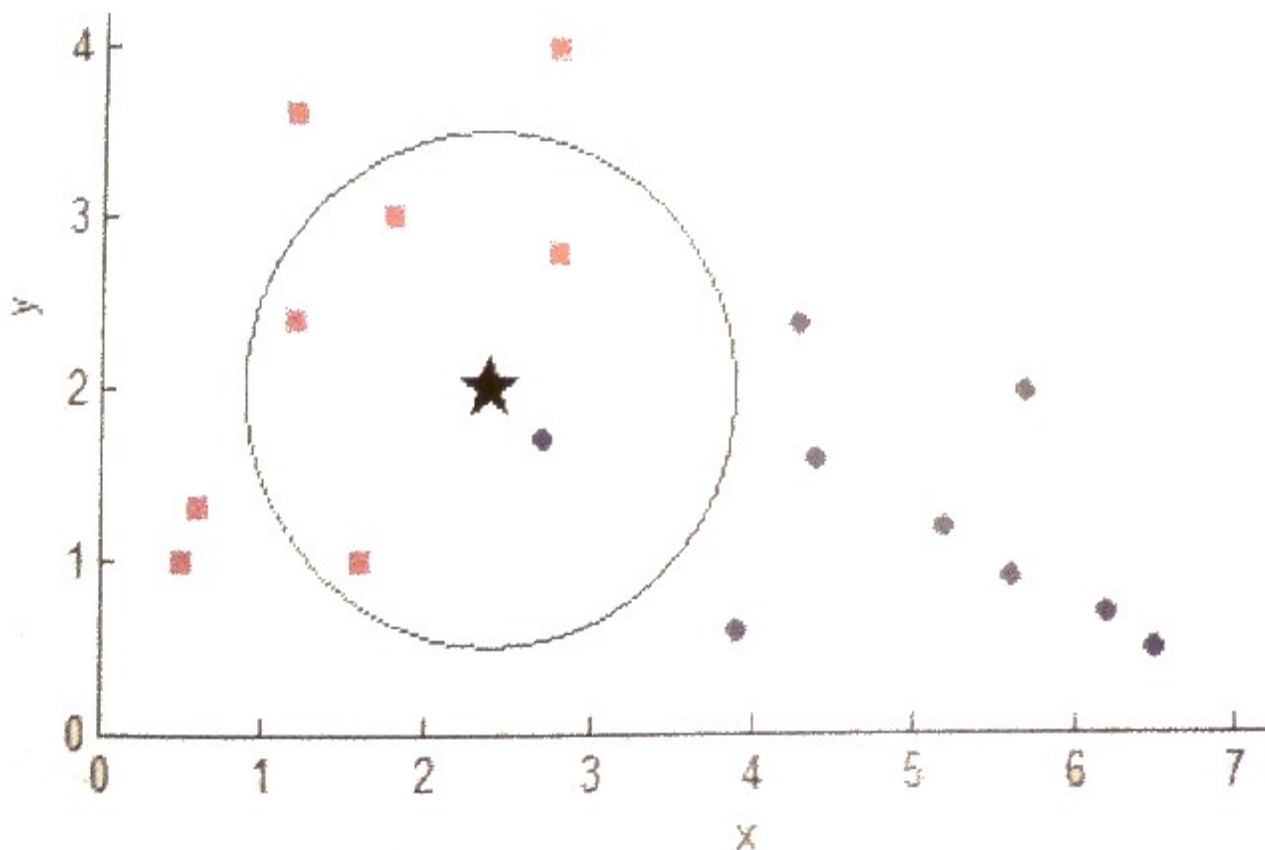


Rys. 6.1 Klasyfikatory NN [2]

Z powyższej aplikacji zostaną wykorzystane odmiany V- k NN oraz V- k NCN. Są to odmiany klasyfikatorów równoległych składających się z pięciu klasyfikatorów k NN lub k NCN. Każdy z pięciu klasyfikatorów składowych różni się liczbą najbliższych sąsiadów. Badania przeprowadzone zostały tylko dla miary Euklidesowej. O wyborze odmian V- k NN oraz V- k NCN zdecydował ich kod źródłowy, który w obu przypadkach był w postaci funkcji bezpośrednio zwracającej skuteczność.

6.1. Odmiana V- k NN

Użyta odmiana V- k NN składa się z pięciu klasyfikatorów k NN o liczbie sąsiadów przekazywanej do funkcji w pięcioelementowym wektorze. Przykład klasyfikacji obiektu klasyfikatorem k NN dla $k=5$ i miary Euklidesowej widać na poniższym rysunku [2]:



Rys. 6.2 Klasyfikator k NN [2]

Nowy obiekt gwiazdka zostanie przydzielony do klasy czerwonej na zasadzie głosowania 4 głosy na czerwony, 1 głos na czarny. Przy użyciu klasyfikatora V- k NN wyniki dla kolejnych $k = [1 \ 3 \ 5 \ 7 \ 9]$ byłyby następujące: czarny, czerwony, czerwony(rysunek), czerwony, czerwony. Moda, czyli wartość najczęściej występująca z kolejnych klasyfikacji, jest zwracana jako wynik działania klasyfikatora równoległego - w tym przypadku czerwony.

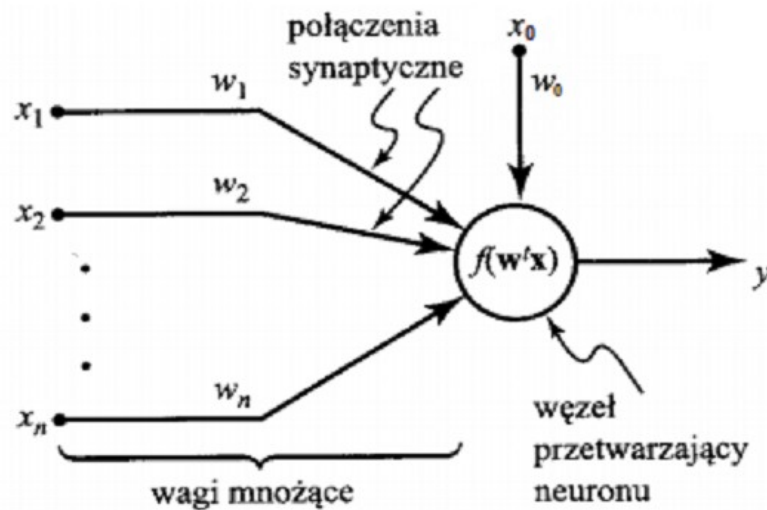
6.2. Odmiana V- k NCN

Użyta odmiana V- k NCN składa się z pięciu klasyfikatorów k NCN, gdzie równoległe głosowanie odbywa się tak samo, jak dla V- k NN. Klasyfikacja k NCN jest to reguła k scentrowanych najbliższych sąsiadów. Podejście to rozważa rozmieszczenie najbliższych sąsiadów dodając ich kolejno i biorąc pod uwagę sąsiadów wcześniej dodanych. Kolejni sąsiedzi są wybierani na podstawie najmniejszej odległości testowanego obiektu od środka ciężkości kandydata na nowego sąsiada i już wybranych sąsiadów. Cykl dodawania sąsiadów trwa aż do osiągnięcia zadanego k .

7. Perceptron wielowarstwowy

7.1. Model perceptronu prostego

Perceptronem prostym nazywamy sieć neuronową w postaci pojedynczego neuronu opartego o model McCullocha-Pittsa, co przedstawia poniższy rysunek [1].

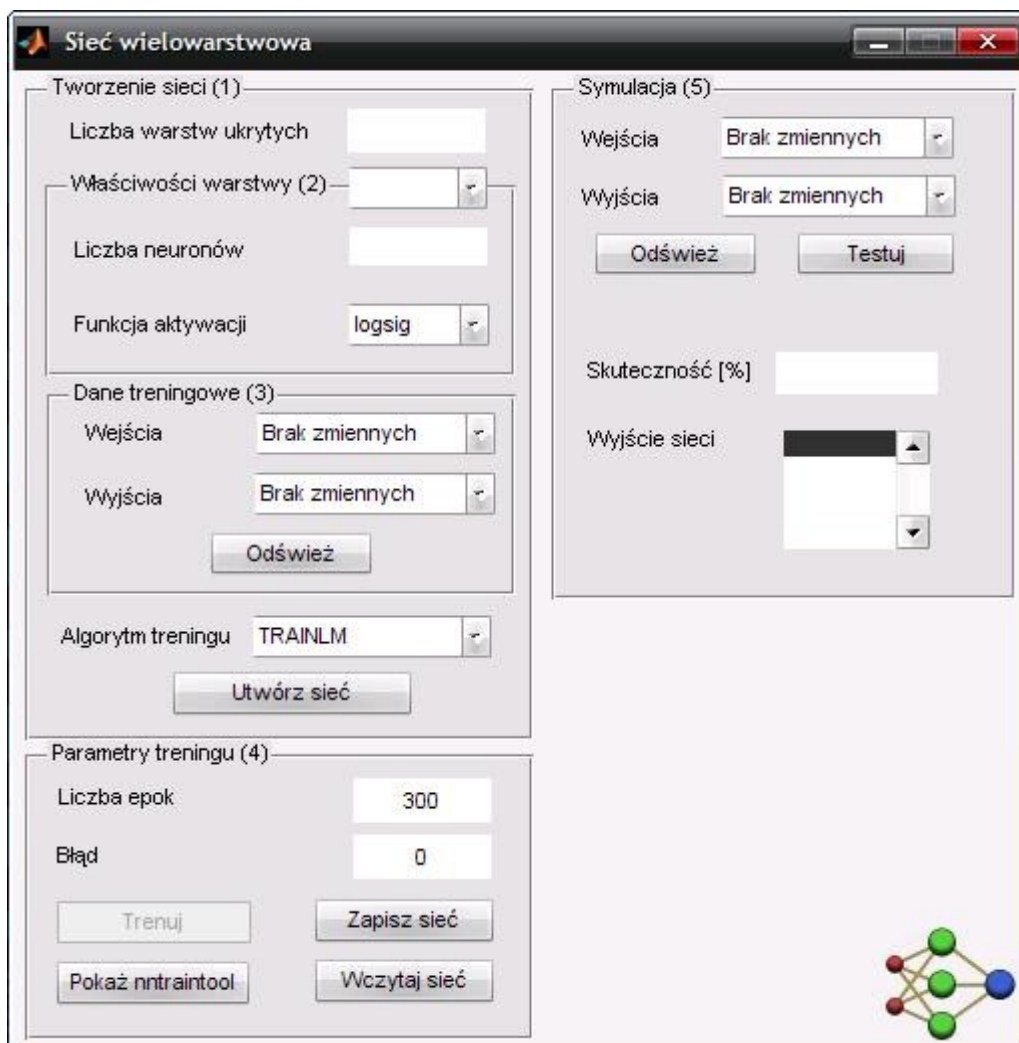


Rys.5.4 Perceptron prosty [1]

Wyjście sieci przedstawionej powyżej wyznaczone jest na podstawie ważonej sumy wszystkich wejść, obejmując także wejście x_0 zwane wartością progową, wyznaczaną w oparciu o wybraną funkcję aktywacji. Wagi odpowiednich wejść są zmieniane podczas procesu uczenia sieci w celu osiągnięcia pożądanych wartości na wyjściu.

7.2. Narzędzia

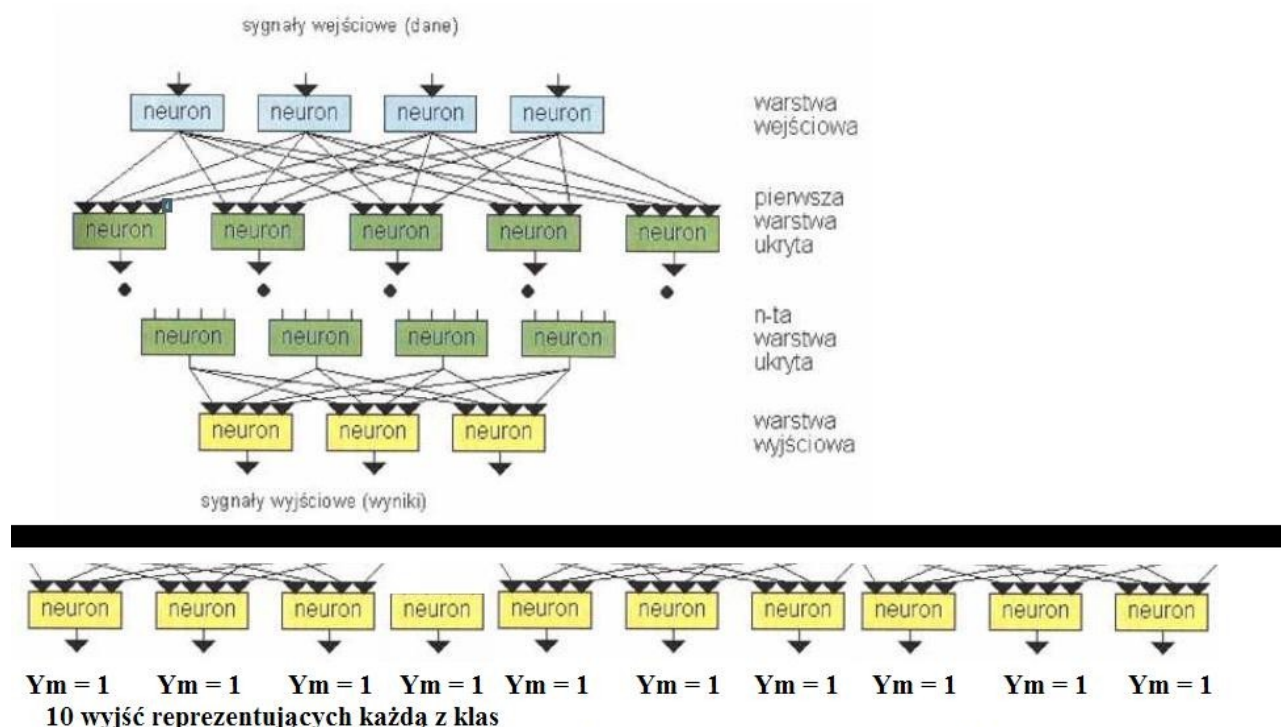
Program do symulacji sieci neuronowych miał pochodzić z pracy dyplomowej [1], jednak okazało się, że jest to nakładka graficzna na toolbox Matlaba firmy MathWorks: nntaintool. Wygląda ona następująco [1].



Rys. 7.1 Nakładka graficzna na nntaintool [1]

Domyślne opcje i kod źródłowy przedstawionej nakładki okazały się pomocne przy tworzeniu własnych sieci neuronowych jak i wcześniejszemu zapoznaniu się z ich działaniem. Badania przeprowadzane w ramach pracy dyplomowej [1] były dla sieci o jednym wyjściu. Wykorzystywanie jednego wyjścia do rozwiązywania problemów wieloklasowych rodzi wątpliwości co do zwracanej przez sieć informacji. Z tego względu badane sieci neuronowe będą posiadać liczbę wyjść równą liczbie klas rozpatrywanego problemu. Wykorzystywany algorytm treningu to trainlm, a liczba epok równa 600. W badaniach we wszystkich warstwach wykorzystywana będzie sigmoidalna unipolarna funkcja aktywacji. Ilość neuronów w warstwach ukrytych decyduje o stopniu hiperpowierzchni rozdzielającej badane klasy.

W celu automatyzacji badań napisałem własne skrypty korzystające z toolboxa nntaintool. Napisane zostały funkcje tworzące, uczące, testujące i zwracające skuteczność sieci pięcio i dziesięciowyjściowych. Poniższy rysunek przedstawia ideę wykorzystywanej sieci dziesięciowyjściowej z dwoma warstwami ukrytymi.



Rys. 7.1 Struktura sieci wielowarstwowej [3]

Sieć taka na każdym wyjściu może zwrócić wartość z zakresu od 0 do 1. Każde wyjście odpowiada jednej klasie. Podczas trenowania takiej sieci dla każdego przedstawiciela etykiety liczbowe zamieniono na wektory o liczbie elementów równej liczbie wyjść. Wektor taki zawiera w odpowiednim położeniu (w zależności od etykiety) jedną jedynkę, a na pozostałych pozycjach zera. Podczas testów wyjście na którym została uzyskana najwyższa wartość dla podanych danych wejściowych decydowało jednoznacznie o klasie testowanego obiektu. W przypadku pojawienia się dwóch takich samych najwyższych wartości, pierwsza z nich ze względu na pozycję w wektorze wyjść zadecyduje o klasie testowanego obiektu.

8. Definicja przeprowadzanych badań

Kolejne klasyfikatory będą testowane dla wektorów cech 3, 5, 7 i 10 elementowych (zawierających pierwsze kolejne momenty Zernike od 3 do 12). Na podstawie tak uzyskanych wyników zostanie do jednego z tych wektorów dodana dodatkowa cecha. Poszczególne klasyfikatory były trenowane (uczone) za pomocą określonego podzbioru dostępnej bazy danych, a testowane podzbiorem stanowiącym jej dopełnienie. W badaniach zastosowane zostały następujące podziały na podzbiór treningowy i testowy dalej określane jako **dzu** (dobór zbioru uczącego) :

1. **50%50** – podział bazy danych na dwa równoliczne podzbiory, podzbiór treningowy zbudowany w oparciu o wektory cech opisujące co drugie ujęcie z bazy danych.
2. **W1** – podzbiór treningowy złożony z wektorów cech opisujących ujęcia liści dla jednego drzewa każdego gatunku (100 wektorów dla każdego gatunku).
3. **W2** – podzbiór treningowy złożony z wektorów cech opisujących ujęcia 7 pierwszych liści z trzech pierwszych drzew każdego gatunku (105 wektorów dla każdego gatunku).
4. **W3** – podzbiór treningowy złożony z wektorów cech opisujących ujęcia 4 pierwszych liści każdego drzewa każdego gatunku (100 wektorów dla każdego gatunku).

Rozpatrywane będą 3 problemy: dziesięcioklasowy i dwa pięcioklasowe.

Problem dziesięcioklasowy będzie badał wszystkie 10 gatunków z bazy.

Pierwszy problem pięcioklasowy określony jako łatwy będzie badał gatunki:

akacji, dębu, jesionu, klonu oraz olchy.

Drugi problem pięcioklasowy określony jako trudny będzie badał gatunki:

brzozy, buku, grabu, platanu i wiązu.

Problem dziesięcioklasowy będzie badany dla czterech dzu oraz następujących parametrów:

- LDA
- QDA
- klasyfikatory NN dla $k=[1\ 3\ 5\ 7\ 9]$
- Sieć neuronowa, eksperyment przeprowadzany 10 razy ze względu na losowe wagi początkowe:
 - dla 1 warstwy ukrytej:
ilość neuronów w warstwie ukrytej 17, 20 i 23
 - dla 2 warstw ukrytych:
ilość neuronów w pierwszej warstwie ukrytej 17, 20 i 23, w drugiej warstwie 10

Problemy pięcioklasowe będą badane dla czterech dzu oraz następujących parametrów:

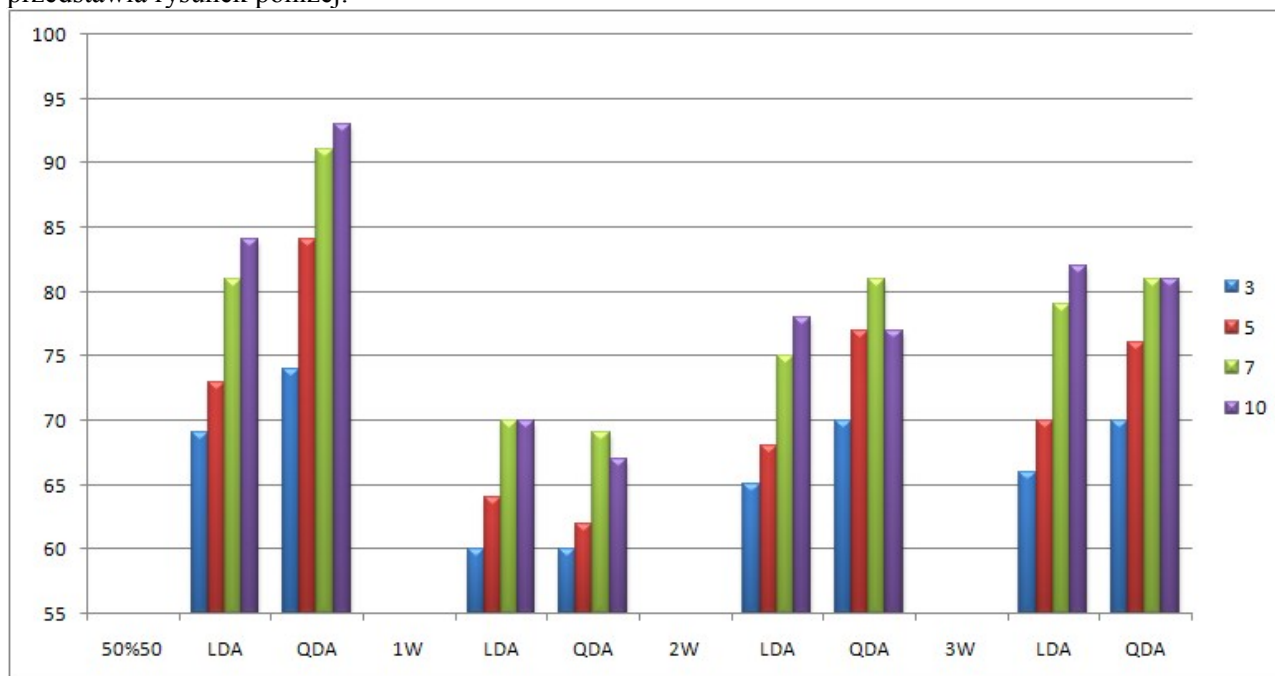
- LDA
- QDA
- klasyfikatory NN dla $k=[1\ 3\ 5\ 7\ 9]$
- Sieć neuronowa, eksperyment przeprowadzany 10 razy ze względu na losowe wagi początkowe:
 - dla 1 warstwy ukrytej:
ilość neuronów w warstwie ukrytej od 6 do 25
 - dla 2 warstw ukrytych:
ilość neuronów w pierwszej warstwie ukrytej 10, w drugiej warstwie 6, 8 i 10

9. Wyniki rozpoznawania liści metodą LDA,QDA

Wyniki eksperymentu są przedstawione na wykresach, dokładne wartości są umieszczone w tabelach pod wykresami.

Pionowa oś wszystkich wykresów ma zmniejszony zakres w celu lepszego zobrazowania zmian od minimum 55 na poziomie domyślnego 0 (przecięcie osi) do 100 procent (możliwe maksimum).

Wykres przedstawiający skuteczność klasyfikatorów LDA i QDA dla problemu dziesięcioklasowego przedstawia rysunek poniżej.



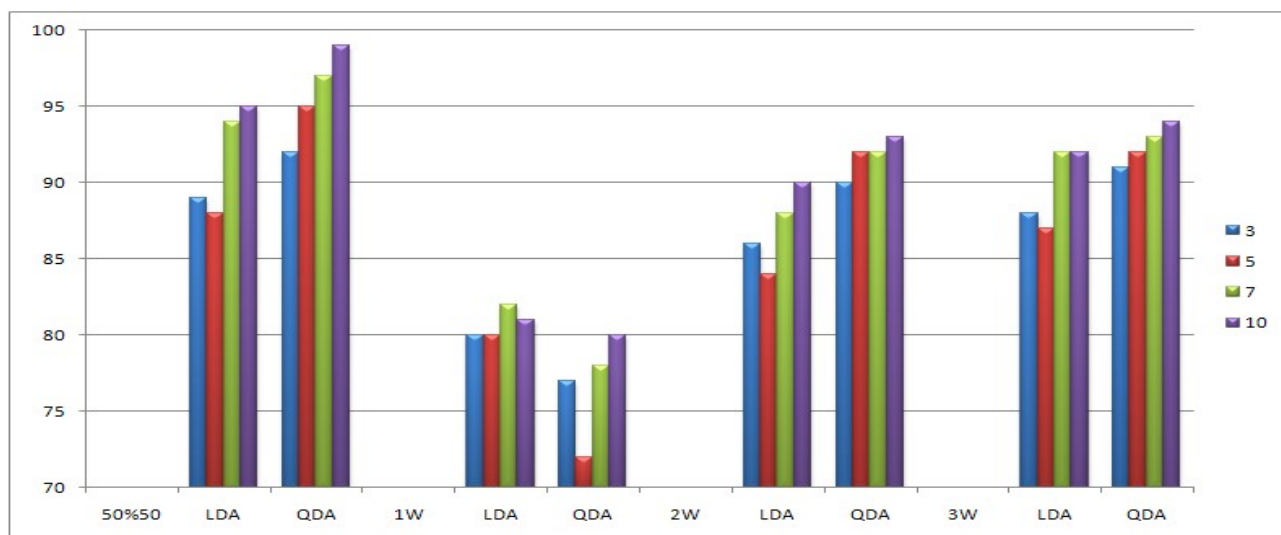
Rys. 9.1 Skuteczności LDA i QDA problem dziesięcioklasowy

Tabela 9.1 Skuteczność LDA i QDA problem dziesięcioklasowy

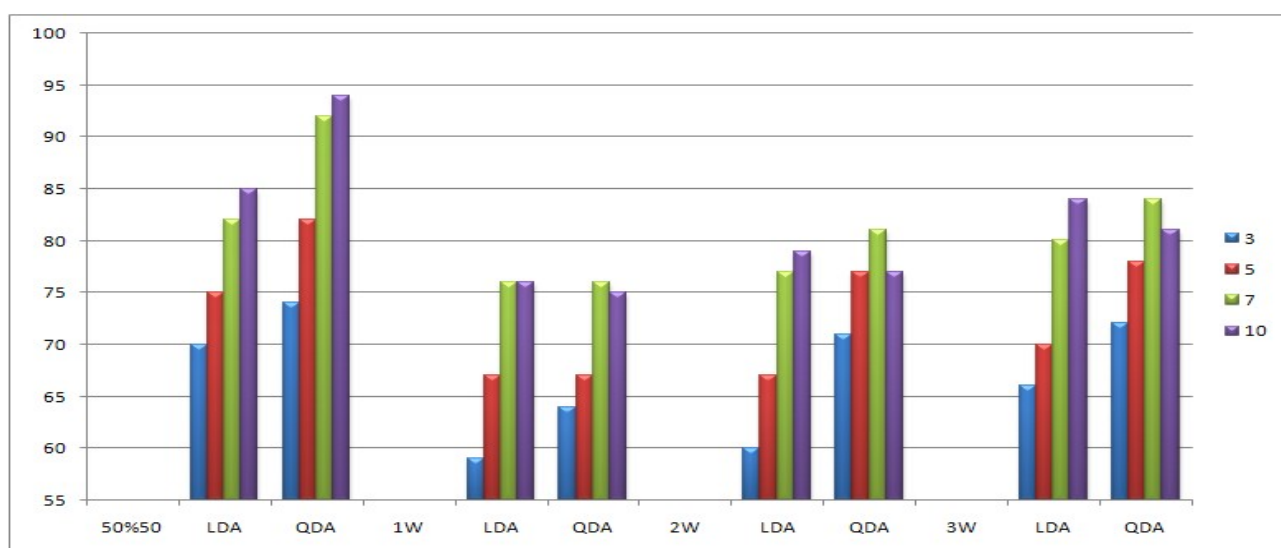
	Długość wektora cech			
	3	5	7	10
50%50				
LDA	69,12%	72,64%	80,52%	83,52%
QDA	73,92%	83,76%	90,88%	93,36%
1W				
LDA	60,38%	63,53%	69,50%	69,73%
QDA	60,15%	62,18%	68,93%	66,98%
2W				
LDA	65,14%	67,82%	75,44%	78,46%
QDA	70,18%	77,39%	81,01%	77,29%
3W				
LDA	66,23%	69,65%	79,15%	82,08%
QDA	69,60%	75,55%	81,40%	80,75%

Rozrzut skuteczności w przedstawionych wynikach wynosi 33% między takim samym dla obu metod LDA i QDA wynikiem minimalnym 60% dla dzu W1 do 93% osiągniętych przez QDA dla dzu 50%50.

Wykresy przedstawiające skuteczność klasyfikatorów LDA i QDA dla problemów pięcioklasowych:



Rys. 9.2 Skuteczności LDA i QDA problem pięcioklasowy łatwy



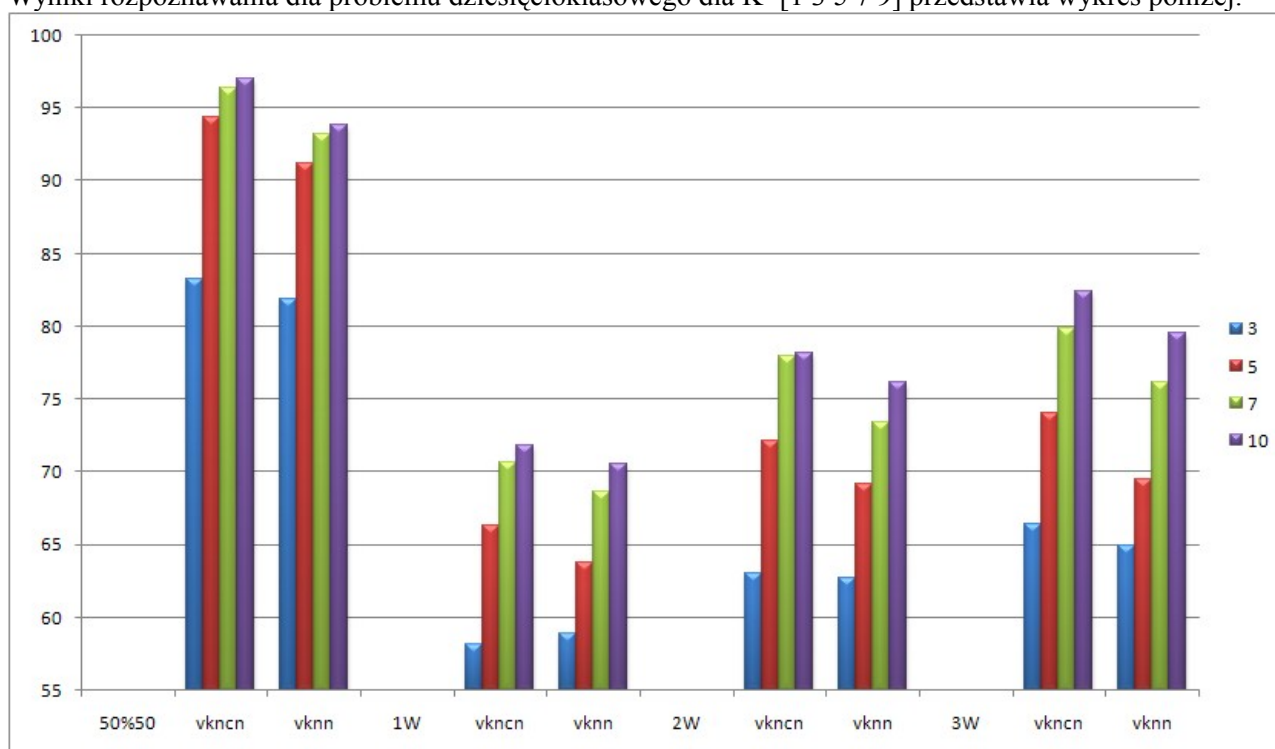
Rys. 9.3 Skuteczności LDA i QDA problem pięcioklasowy trudny

Tabela 9.2 Skuteczność LDA i QDA problemy pięcioklasowe

	Długość wektora cech ŁATWE				Długość wektora cech TRUDNE			
	3	5	7	10	3	5	7	10
50%50								
LDA	89,04%	88,48%	93,68%	95,44%	70,24%	75,36%	82,32%	85,28%
QDA	91,84%	94,80%	97,28%	98,56%	74,08%	82,40%	92,16%	93,84%
1W								
LDA	80,35%	79,85%	81,90%	81,20%	58,75%	67,45%	75,70%	75,90%
QDA	76,70%	72,25%	78,30%	79,75%	63,80%	67,45%	75,50%	74,90%
2W								
LDA	85,62%	83,80%	88,41%	90,23%	60,00%	67,14%	77,32%	79,39%
QDA	89,57%	91,75%	92,05%	93,16%	71,44%	77,06%	80,96%	76,56%
3W								
LDA	87,65%	86,80%	91,80%	92,10%	66,20%	70,40%	80,10%	83,85%
QDA	90,80%	92,25%	93,05%	94,15%	71,90%	77,65%	83,65%	81,10%

10. Wyniki rozpoznawania liści metodami NN

Wyniki rozpoznawania dla problemu dziesięcioklasowego dla $K=[1\ 3\ 5\ 7\ 9]$ przedstawia wykres poniżej.



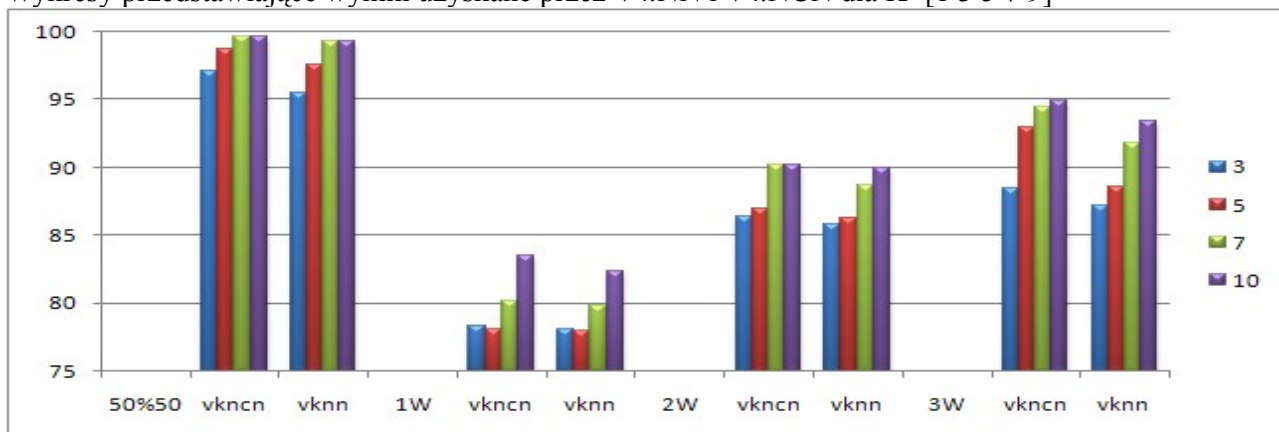
Rys. 10.1 Skuteczności V-kNN i V-kNCN problem dziesięcioklasowy

Tabela 10.1 Skuteczności V-kNN i V-kNCN problem dziesięcioklasowy

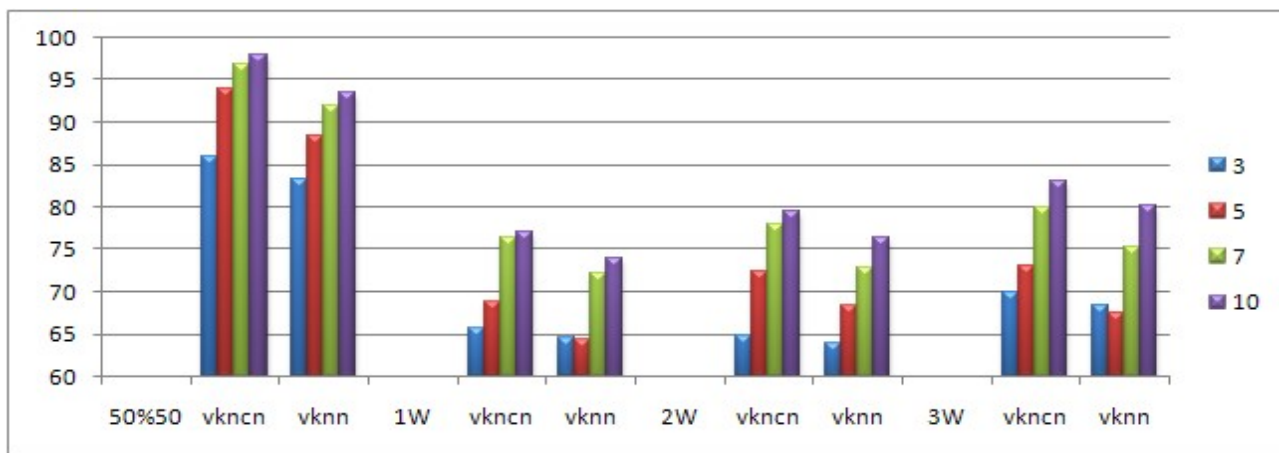
10 klasowy	Długość wektora cech			
	3	5	7	10
50%50				
vkncn	83,2	94,32	96,36	97,04
vknn	81,84	91,24	93,2	93,84
1W				
vkncn	58,1	66,28	70,65	71,83
vknn	58,85	63,78	68,58	70,5
2W				
vkncn	63,01	72,08	77,92	78,15
vknn	62,73	69,16	73,42	76,2
3W				
vkncn	66,4	73,98	79,88	82,43
vknn	64,93	69,45	76,18	79,58

Różnica między wynikiem maksymalnym 97,04% a minimalnym 58,1% wynosi 38,94%. Dla dzu 50%50 wynik uzyskany przez V-kNCN jest wyższy o 4% niż dla QDA. Przy mniejszym dzu 3W wyniki są jednak tak samo słabe (różnica 0,35%) dochodzące do niecałych 82,5%.

Wykresy przedstawiające wyniki uzyskane przez V-kNN i V-kNCN dla K=[1 3 5 7 9]



Rys. 10.2 Skuteczności V-kNN i V-kNCN problem pięcioklasowy łatwy



Rys. 10.3 Skuteczności V-kNN i V-kNCN problem pięcioklasowy trudny

Tabela 10.2 Skuteczności V-kNN i V-kNCN problemy pięcioklasowe

	Długość wektora cech ŁATWE				Długość wektora cech TRUDNE			
	3	5	7	10	3	5	7	10
50%50	97,04	98,72	99,68	99,68	85,92	93,92	96,8	97,92
vkncn	95,44	97,6	99,28	99,28	83,2	88,48	92	93,6
vknn	95,44	97,6	99,28	99,28	83,2	88,48	92	93,6
1W								
vkncn	78,35	78,1	80,2	83,45	65,75	68,75	76,4	77,05
vknn	78,05	78	79,8	82,3	64,5	64,45	72,25	74
2W								
vkncn	86,38	86,99	90,18	90,13	64,81	72,46	77,97	79,49
vknn	85,82	86,28	88,66	89,97	64	68,3	72,91	76,41
3W								
vkncn	88,45	92,9	94,5	94,85	69,95	73	79,9	83,05
vknn	87,2	88,55	91,8	93,35	68,4	67,6	75,2	80,2

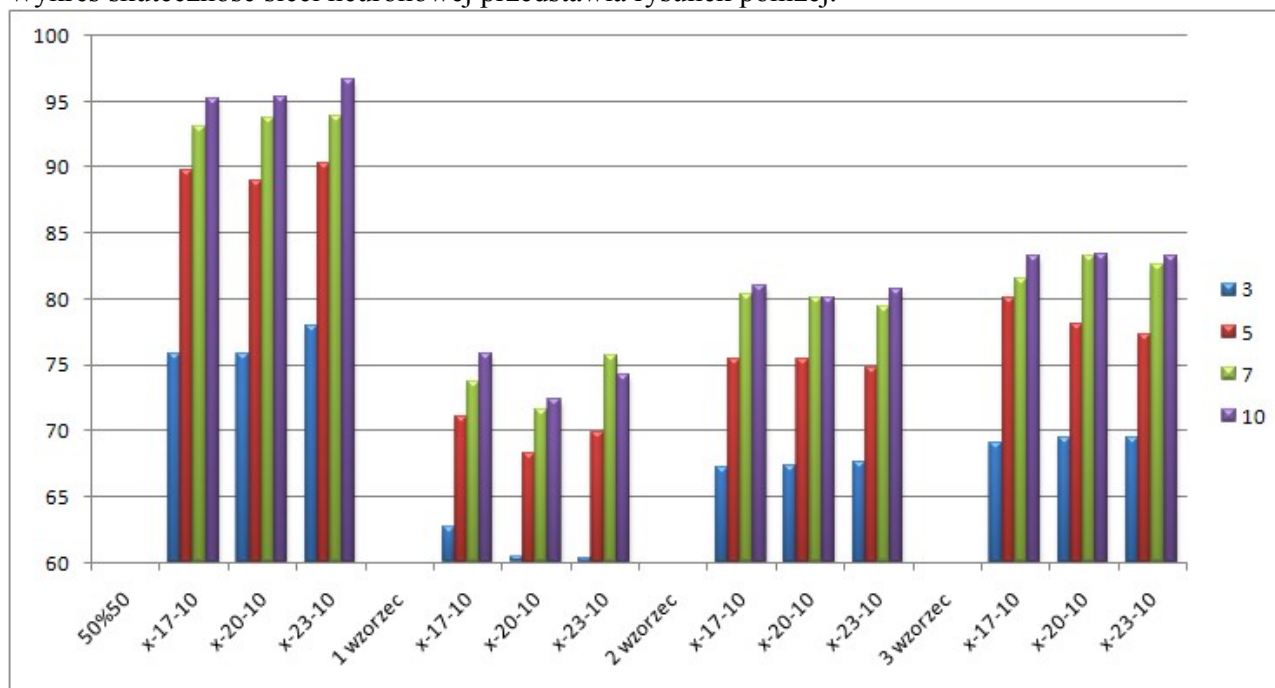
Dzu 50%50 dla klasyfikatora V-kNCN daje imponujący wyniki 99,68% co odpowiada kilku nierozpoznanym zdjęciom. Przy mniejszej reprezentatywności gatunku dla dzu 3W wynik V-kNCN jest niecały 1% wyższy niż dla QDA. Dla dzu 50%50 klasyfikator V-kNCN zyskał niewiele ponad 4% w stosunku do QDA.

11. Wyniki rozpoznawania liści perceptronem wielowarstwowym

Przedstawiane wyniki sieci neuronowej to najwyższy uzyskany przez sieć wynik podczas dziesięciu prób eksperymentu. Pełne wyniki wszystkich prób z których pobrano wartości max są dostępne w załączniku.

11.1. Problem dziesięcioklasowy dla sieci z 1 warstwą ukrytą

Wykres skuteczność sieci neuronowej przedstawia rysunek poniżej.



Rys. 11.1 Skuteczności sieci neuronowej z 1 warstwą ukrytą problem dziesięcioklasowy

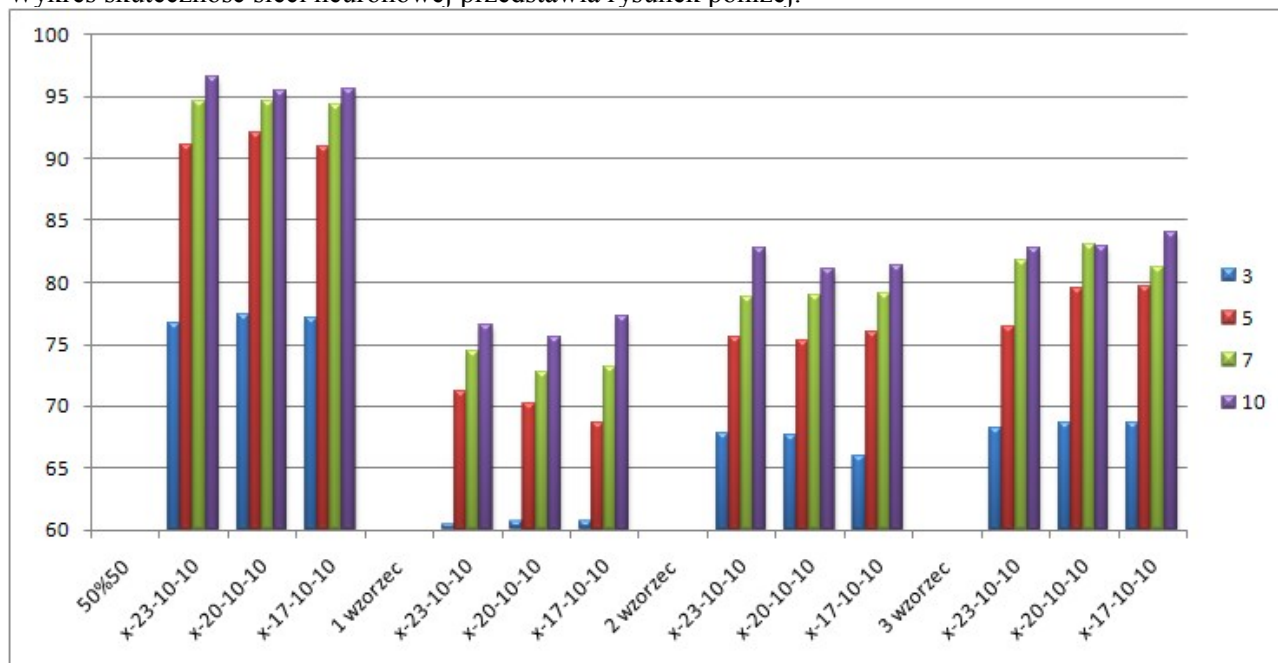
Tabela 11.1 Skuteczności sieci neuronowej z 1 warstwą ukrytą, problem dziesięcioklasowy

		Długość wektora cech			
	x=	3	5	7	10
	sieć	max	max	max	max
50%50	x-17-10	75,84	89,8	93,04	95,24
	x-20-10	75,84	89	93,8	95,36
	x-23-10	77,92	90,32	93,84	96,6
1W	x-17-10	62,65	71,1	73,78	75,9
	x-20-10	60,43	68,33	71,65	72,4
	x-23-10	60,35	69,93	75,73	74,25
2W	x-17-10	67,19	75,44	80,38	81,06
	x-20-10	67,29	75,42	80,03	80,1
	x-23-10	67,59	74,76	79,42	80,68
3W	x-17-10	69,13	80,05	81,5	83,23
	x-20-10	69,43	78,05	83,3	83,45
	x-23-10	69,48	77,23	82,63	83,2

Wynik maksymalny 96,6% perceptronu o konfiguracji 10-23-10 dla dzu 50%50 jest porównywalny (różnica 0,44%) z uzyskanym przez klasyfikator V-kNCN. Dla dzu 3W sieć 10-20-10 uzyskała wynik o 1% więcej niż dotychczasowy max. Najniższy wynik 60,35% jest bliski wynikom LDA i QDA.

11.2. Problem dziesięcioklasowy dla sieci z 2 warstwami ukrytymi

Wykres skuteczność sieci neuronowej przedstawia rysunek poniżej.



Rys.11.2 Skuteczności sieci neuronowej z 2 warstwami ukrytymi, problem dziesięcioklasowy

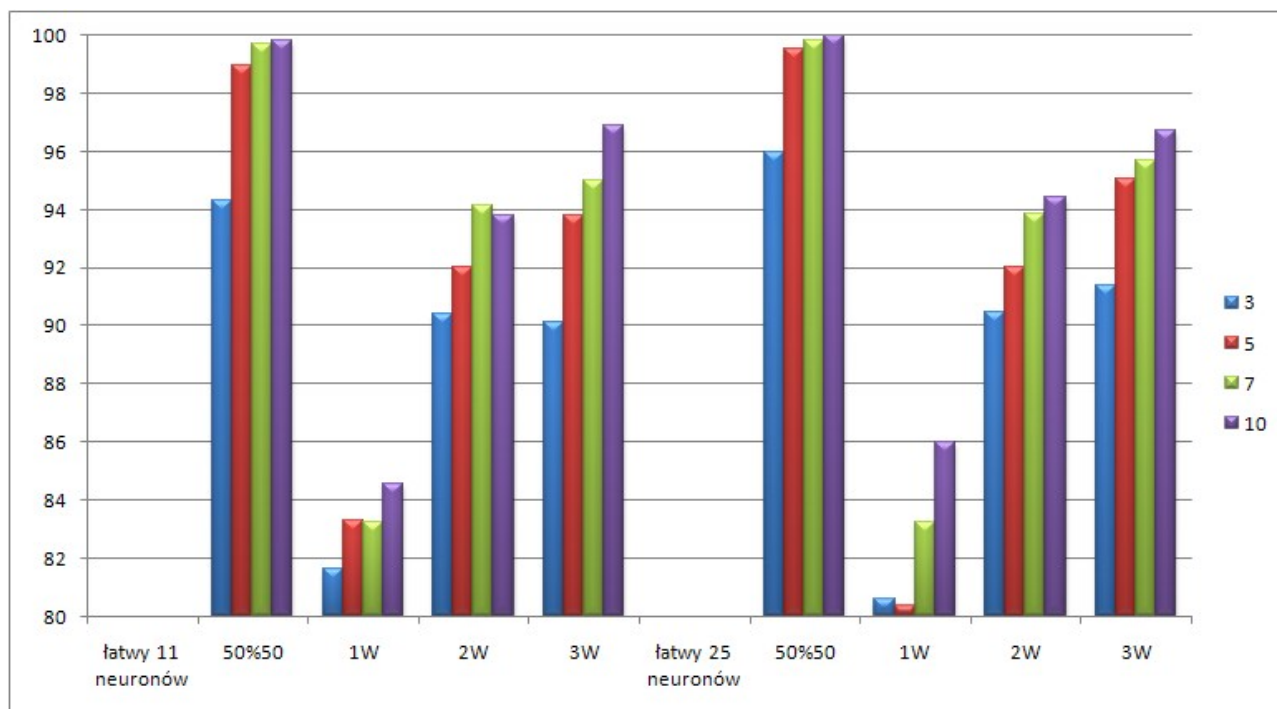
Tabela 11.2 Skuteczności sieci neuronowej z 2 warstwami ukrytymi, problem dziesięcioklasowy

	X=	3	5	7	10
50%50	x-23-10-10	76,64	91,12	94,56	96,64
	x-20-10-10	77,32	92,08	94,56	95,48
	x-17-10-10	77,16	90,92	94,28	95,56
1W	x-23-10-10	60,43	71,18	74,48	76,5
	x-20-10-10	60,65	70,23	72,68	75,53
	x-17-10-10	60,7	68,55	73,08	77,28
2W	x-23-10-10	67,82	75,57	78,78	82,76
	x-20-10-10	67,59	75,32	78,86	81,11
	x-17-10-10	65,95	76	79,01	81,29
3W	x-23-10-10	68,15	76,4	81,73	82,78
	x-20-10-10	68,65	79,43	83,08	82,9
	x-17-10-10	68,68	79,6	81,25	84,08

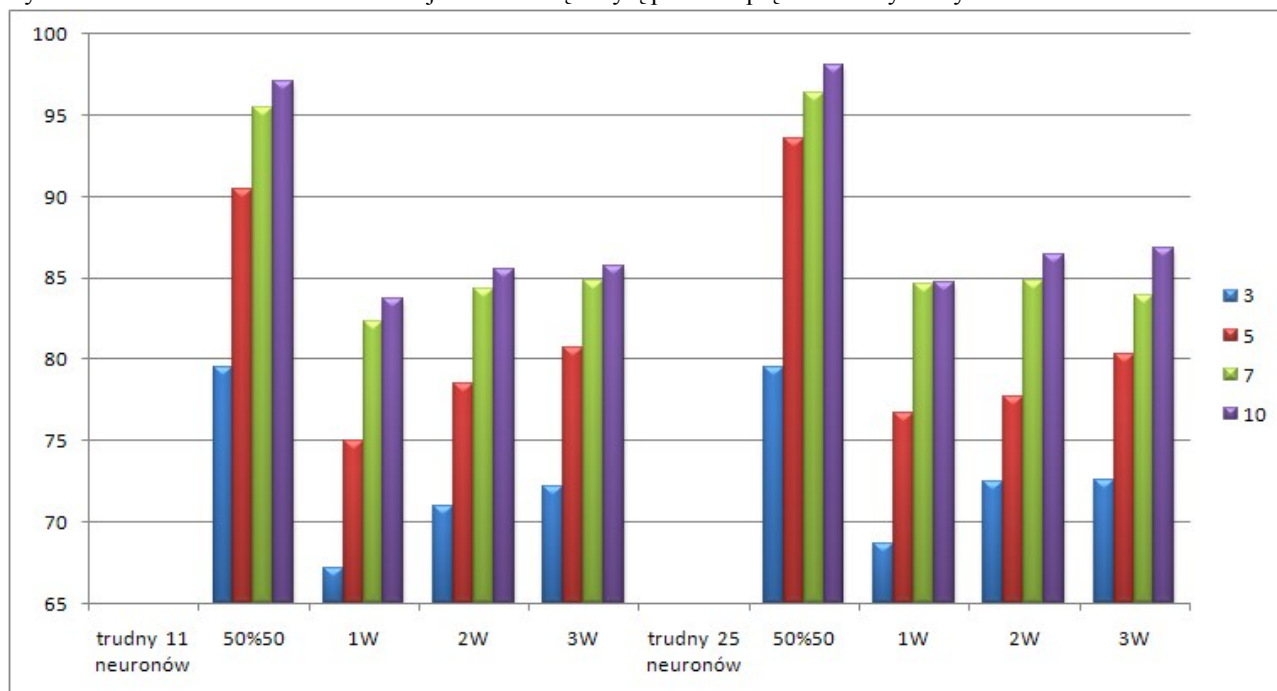
Wynik maksymalny perceptronu z 2 warstwami ukrytymi dla dzu 3W jest o około 0,5% wyższy niż dla sieci z jedną warstwą ukrytą. Reszta wyników jest prawie stała.

11.3. Problemy pięcioklasowe dla sieci z 1 warstwą ukrytą, 11 i 25 neuronów

Przy dzu 50%50 dla 10 elementowego wektora cech przy liczbie neuronów 8, 9, 19, 12 do 17 oraz 21 do 25 w warstwie ukrytej perceptron osiągał 100% skuteczność w przynajmniej jednej na 30 prób. Najwyższe skuteczności przy niepełnej reprezentatywności bazy dla dzu 3W osiągnęły perceptrony z 11 i 25 neuronami w warstwie ukrytej mianowicie 96,9 oraz 96,7 co zaznaczono na zielono w tabelach. Skuteczność sieci przedstawiają wykresy poniżej.



Rys.11.3 Skuteczności sieci neuronowej z 1 warstwą ukrytą problem pięcioklasowy łatwy



Rys.11.4 Skuteczności sieci neuronowej z 1 warstwą ukrytą problem pięcioklasowy trudny

Tabela 11.3 Skuteczności sieci neuronowej z 1 warstwą ukrytą, problemy pięcioklasowe

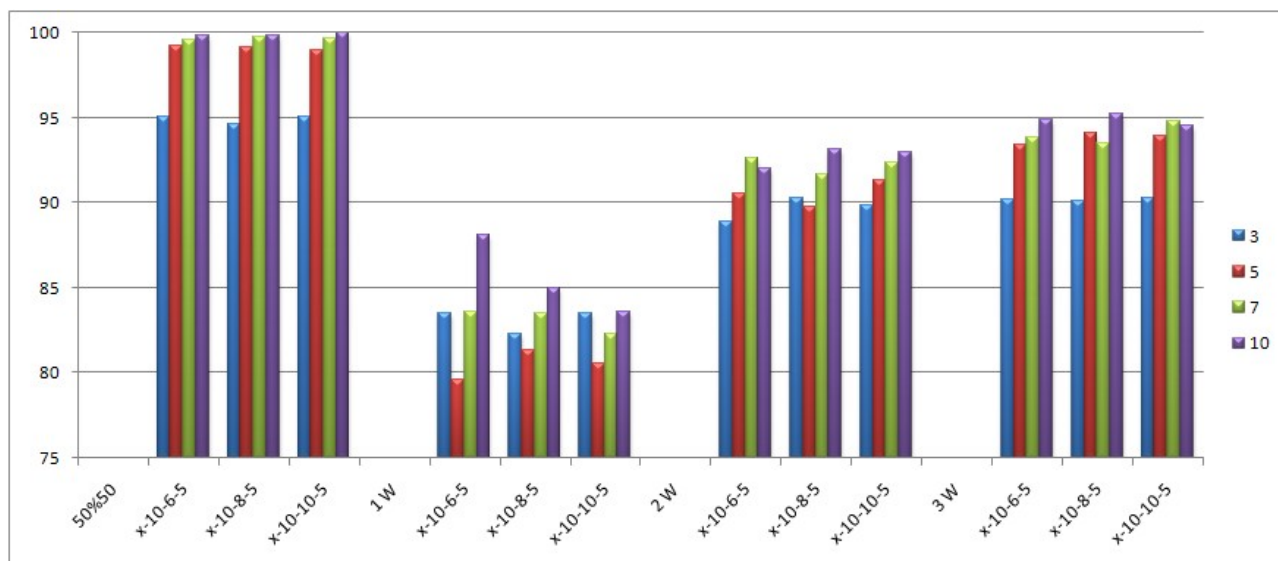
	Długość wektora cech ŁATWE				Długość wektora cech TRUDNE			
11 neuronów								
	3	5	7	10	3	5	7	10
50%50	94,32	98,96	99,68	99,84	79,52	90,48	95,44	97,04
1W	81,65	83,3	83,25	84,55	67,2	75	82,3	83,75
2W	90,38	92	94,13	93,77	70,99	78,48	84,35	85,52
3W	90,1	93,8	95	96,9	72,2	80,7	84,8	85,75
25 neuronów								
	3	5	7	10	3	5	7	10
50%50	96	99,52	99,84	100	79,52	93,6	96,4	98,08
1W	80,6	80,35	83,25	86	68,7	76,65	84,6	84,75
2W	90,48	92	93,87	94,43	72,51	77,67	84,81	86,43
3W	91,4	95,05	95,7	96,7	72,55	80,35	83,95	86,8

Wyniki obu perceptronów są o 2% lepsze dla dzu 3W niż wynik 94,85% uzyskany przez klasyfikator V-kNCN.

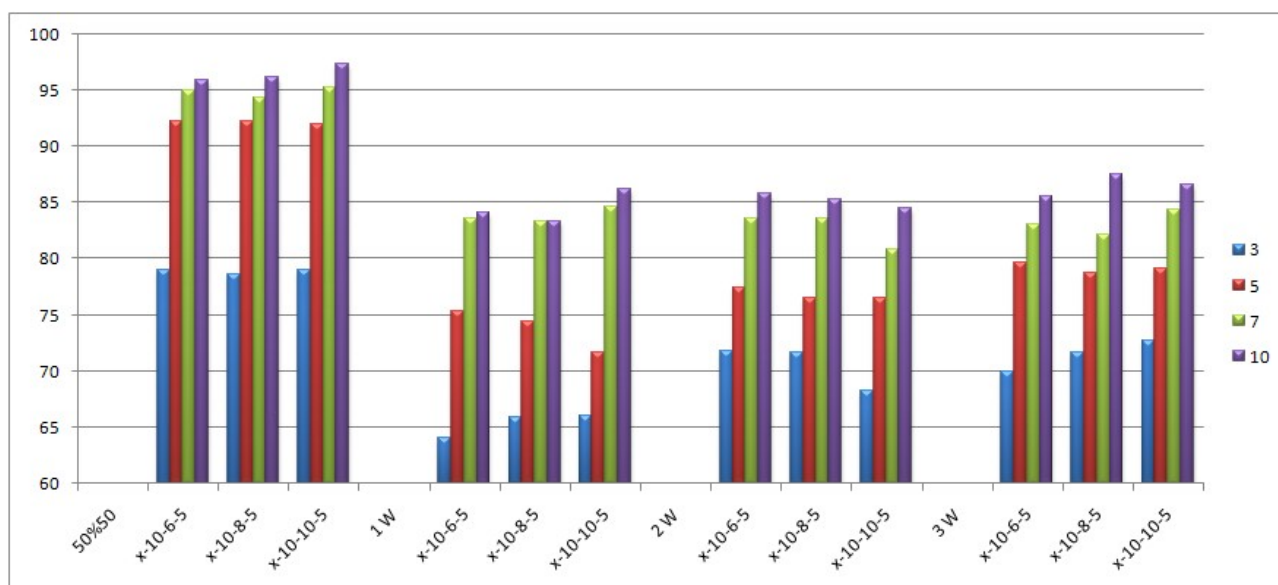
Uzyskanie wyników 100% przez 14 z testowanych konfiguracji neuronów w warstwach ukrytych świadczy o wysokich możliwościach dopasowania granicy decyzyjnej do chmury punktów danych treningowych.

11.4. Problemy pięcioklasowe dla sieci z 2 warstwami ukrytymi

Skuteczność sieci przedstawiają wykresy poniżej.



Rys.11.5 Skuteczności sieci neuronowej z 2 warstwami ukrytymi problem pięcioklasowy łatwy



Rys.11.6 Skuteczności sieci neuronowej z 2 warstwami ukrytymi problem pięcioklasowy trudny

Tabela 11.4 Skuteczności sieci neuronowej z 2 warstwami ukrytymi, problemy pięcioklasowe

		Długość wektora cech ŁATWE				Długość wektora cech TRUDNE			
	X=	3	5	7	10	3	5	7	10
50%50	x-10-6-5	95,04	99,2	99,52	99,84	78,96	92,24	95,04	95,92
	x-10-8-5	94,56	99,12	99,76	99,84	78,64	92,24	94,32	96,16
	x-10-10-5	95,04	98,96	99,6	100	79,04	91,92	95,28	97,36
1 W	x-10-6-5	83,5	79,6	83,55	88,1	64,1	75,3	83,55	84,05
	x-10-8-5	82,3	81,35	83,5	84,95	65,85	74,45	83,3	83,35
	x-10-10-5	83,5	80,5	82,25	83,55	66,05	71,7	84,6	86,15
2 W	x-10-6-5	88,91	90,48	92,61	92	71,8	77,37	83,54	85,87
	x-10-8-5	90,23	89,77	91,65	93,11	71,65	76,51	83,59	85,27
	x-10-10-5	89,87	91,34	92,35	92,96	68,2	76,51	80,86	84,51
3 W	x-10-6-5	90,15	93,4	93,8	94,85	69,9	79,6	83,05	85,6
	x-10-8-5	90,1	94,05	93,5	95,25	71,7	78,75	82,15	87,55
	x-10-10-5	90,25	93,95	94,8	94,5	72,75	79,1	84,35	86,55

Perceptron z dwoma warstwami ukrytymi uzyskał o niewiele ponad 1% niższy wynik dla dzu 3W niż perceptron z jedną warstwą. Trudny problem pięcioklasowy dla dzu innego niż 50%50 nie uzyskał więcej niż 87,55% dla żadnego z testowanych klasyfikatorów.

12. Opisanie badania porównującego

12.1. Wybór wektora cech

Na podstawie powyższych wyników rozważane były konfiguracje wektora cech 7+1 oraz 10+1. Więcej większych wyników uzyskał wektor 10 elementowy. Wybór padł na 11 elementowy wektor cech 10+1. Wybranie dodatkowego momentu nastąpiło drogą losową sumując kolejne 6 rzutów kostką. Wylosowane liczby: 4, 5, 4, 4, 1, 4 dają w sumie 22.

12.2. Założenia eksperymentu porównującego

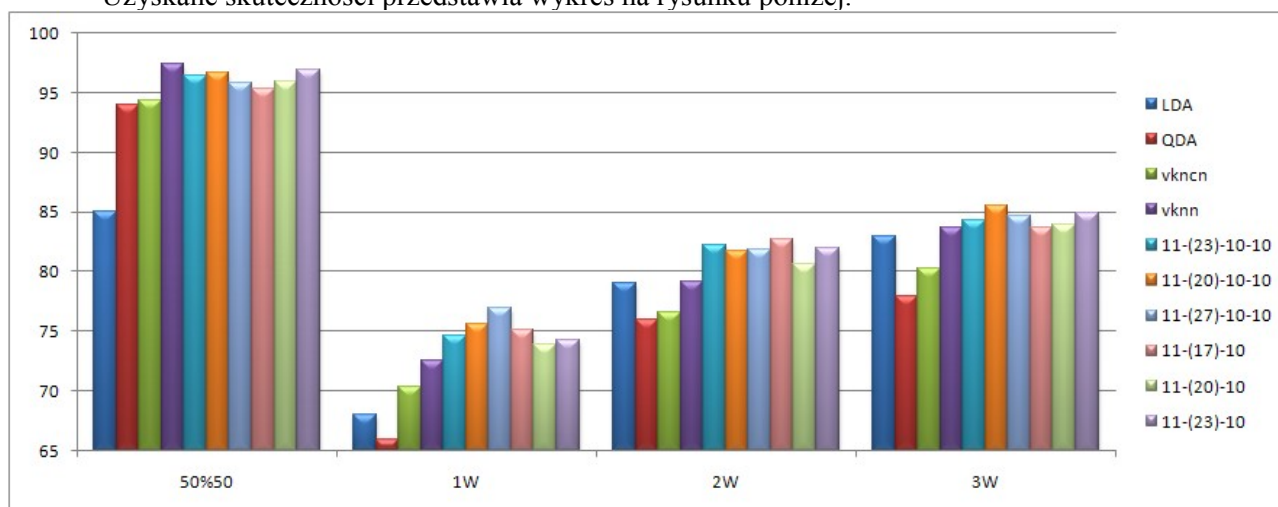
Badanie przeprowadzone zostanie na 11 elementowym wektorze cech składającym się z momentów Zernike: momenty 3 do 12 oraz 22. Rozważane będą następujące problemy:

- Problem 10 klasowy dla czterech dzu, klasyfikatory o konfiguracji:
 1. LDA
 2. QDA
 3. V-kNCN $k = [1\ 3\ 5\ 7\ 9]$
 4. V-kNN $k = [1\ 3\ 5\ 7\ 9]$
 5. 11-(23)-10-10
 6. 11-(20)-10-10
 7. 11-(27)-10-10
 8. 11-(17)-10
 9. 11-(20)-10
 10. 11-(23)-10
- Dwa problemy 5 klasowe dla czterech dzu, klasyfikatory o konfiguracji:
 1. LDA
 2. QDA
 3. V-kNCN $k = [1\ 3\ 5\ 7\ 9]$
 4. V-kNN $k = [1\ 3\ 5\ 7\ 9]$
 5. 11-(8)-5 ilość neuronów w warstwie ukrytej od 6 do 11
 6. 11-(9,11)-10-5 ilość neuronów w pierwszej warstwie ukrytej od 9 do 14

13. Wyniki porównania klasyfikatorów

13.1. Problem 10 klasowy

Uzyskane skuteczności przedstawia wykres na rysunku poniżej.



Rys.13.1 Skuteczności klasyfikatorów dla badania porównującego problem dziesięcioklasowy

Tabela 13.1 Skuteczności klasyfikatorów dla badania porównującego problem dziesięcioklasowy

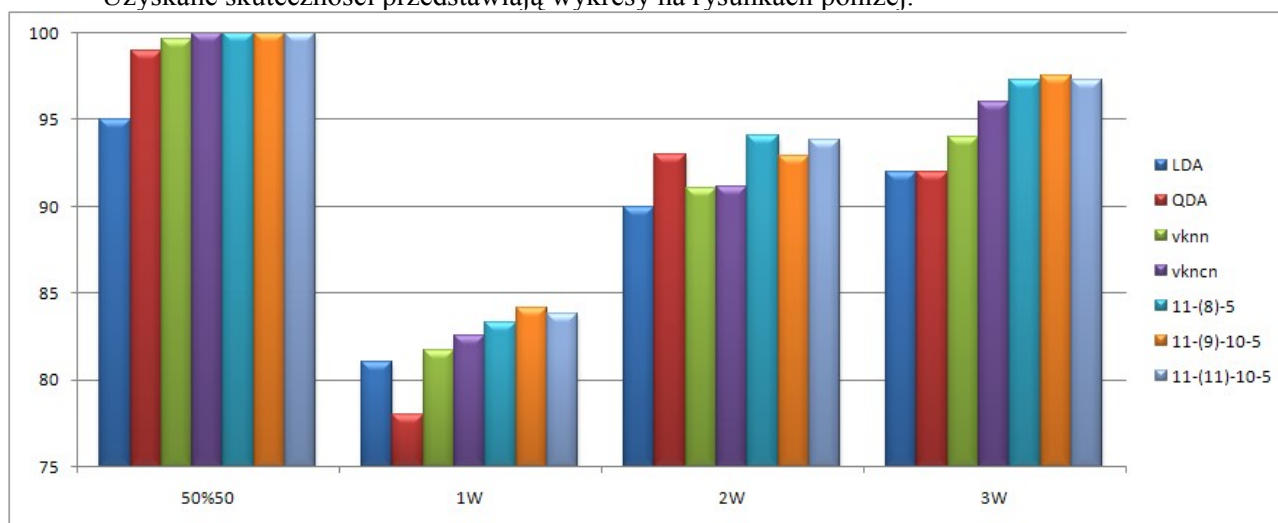
	Sposób dzu na zbiór testowy i treningowy			
	50%50	1W	2W	3W
LDA	84,80%	68,05%	78,81%	82,88%
QDA	93,80%	66,48%	76,13%	77,55%
vkncn	94,4	70,4	76,56	80,28
vknn	97,44	72,5	79,14	83,75
11-(23)-10-10	96,44	74,68	82,23	84,3
11-(20)-10-10	96,68	75,6	81,7	85,55
11-(27)-10-10	95,84	76,98	81,8	84,65
11-(17)-10	95,36	75,15	82,73	83,73
11-(20)-10	95,96	73,9	80,61	83,93
11-(23)-10	96,92	74,25	82	84,93

Wynik 85,55% perceptronu o 2 warstwach ukrytych 11-20-10-10 dla dzu 3W jest o 1,42% wyższy niż maksymalny wcześniej uzyskany.

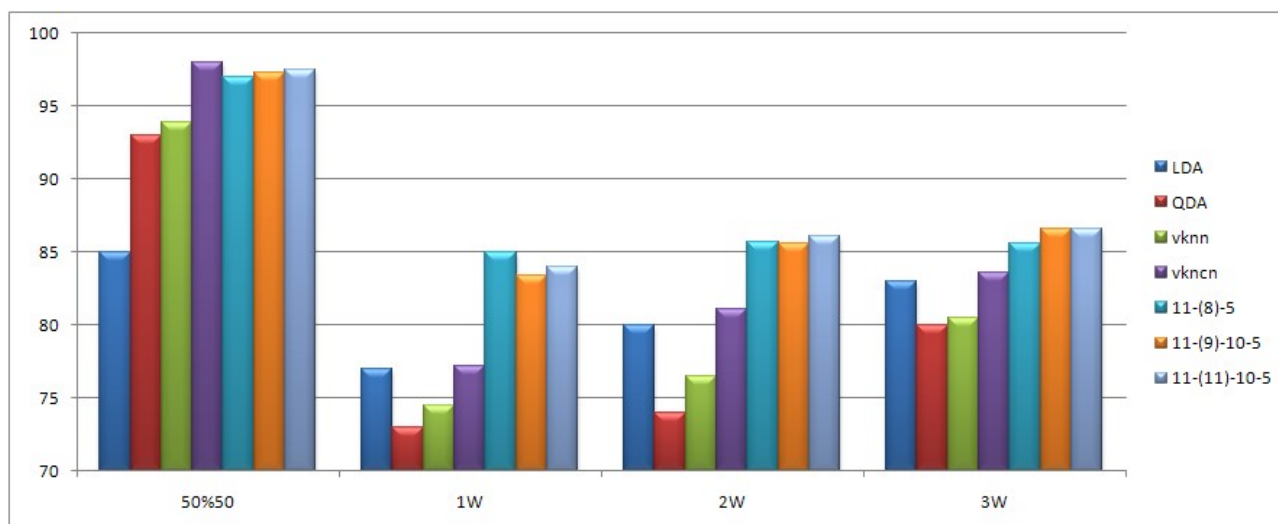
Klasyfikator V-*k*NN uzyskał 97,44 czyli 0,4% więcej niż maksimum uzyskane w wynikach wyżej (biorąc pod uwagę wyniki wszystkich klasyfikatorów) przez V-*k*NCN dla dzu 50%50.

13.2. Problemy 5 klasowe

Uzyskane skuteczności przedstawiają wykresy na rysunkach poniżej.



Rys.13.2 Skuteczności klasyfikatorów dla badania porównującego problem pięcioklasowy łatwy



Rys.13.3 Skuteczności klasyfikatorów dla badania porównującego problem pięcioklasowy trudny

Tabela 13.2 Skuteczności klasyfikatorów dla badania porównującego problemy pięcioklasowe

	Sposób dzu na zbiór testowy i treningowy ŁATWE				Sposób dzu na zbiór testowy i treningowy TRUDNE			
	50%50	1W	2W	3W	50%50	1W	2W	3W
LDA	95,36%	81,05%	89,92%	92,05%	85,36%	76,50%	79,85%	83,30%
QDA	98,96%	78,20%	93,06%	92,15%	92,72%	73,20%	73,57%	79,55%
vknn	99,68	81,7	91,04	94	93,84	74,45	76,51	80,5
vkncn	100	82,55	91,14	96,05	98	77,2	81,06	83,6
11-(8)-5	100	83,35	94,08	97,3	96,96	84,95	85,72	85,55
11-(9)-10-5	100	84,15	92,91	97,55	97,28	83,35	85,57	86,55
11-(11)-10-5	100	83,8	93,82	97,3	97,44	84	86,03	86,6

Cztery klasyfikatory uzyskały 100% wyniki dla dzu 50%50. Najlepsze wyniki niewiele niższe od maksymalnych dla wszystkich dzu 50%50, 1W, 2W, 3W dla obu problemów uzyskują perceptrony o dwóch warstwach ukrytych.

14. Wnioski i zakończenie

W niniejszej pracy porównywano skuteczność klasyfikatorów w zadaniu rozpoznawania liści. Badane były klasyfikatory statystyczne LDA, QDA, perceptron z jedną i dwoma warstwami ukrytymi oraz dwa klasyfikatory najbliższego sąsiedztwa V - k NCN i V - k NN.

Rozpatrywany był problem dziesięcioklasowy oraz dwa pięcioklasowe dla czterech doborów zbioru uczącego, który jak widać po wynikach ma ogromny wpływ na skuteczność klasyfikatora. Badania przeprowadzone zostały dla pięciu długości wektora cech: 3, 5, 7, 10 i 11. Różnica wyników dla 3 elementowego wektora cech używając wzorca 1W (najmniejsza reprezentatywność danych dostarczonych podczas treningu) w stosunku do wzorców 3W i 50%50 z 10 oraz 11 elementowym wektorem cech w niektórych przypadkach przekraczała 40%.

Najlepszy wynik rozpoznania dla problemu dziesięcioklasowego przy dzu 50%50 wynoszący 97,44% uzyskał klasyfikator V - k NN, natomiast dla dzu 3W wyniki sieci neuronowej o konfiguracji 11-20-10-10 sięgają 85,55%. Pięcioklasowy problem trudny dla wzorca 3W za pomocą 11-11-10-5 został rozpoznany ze skutecznością 86,6%. Jest to wynik niewiele ponad 1% większy niż w problemie dziesięcioklasowym, w którym do rozpoznania było 2 razy więcej zdjęć. Świadczy to o tym, że dodane gatunki łatwe są podobne do tych badanych w problemie trudnym, przez co ponad dwukrotnie więcej zdjęć jest niepoprawnie rozpoznanych w tak rozpatrywanym problemie.

W problemach pięcioklasowych klasyfikator V - k NCN osiągnął najlepsze wyniki dla dzu 50%50 odpowiednio dla problemu łatwego 100%, a dla trudnego 98%. Nie odstawały od niego sieci neuronowe o konfiguracjach 11-8-5, 11-9-10-5 oraz 11-11-10-5, które przy dzu 50%50 również miały 100% skuteczność oraz zbliżone do siebie najlepsze wyniki we wszystkich pozostałych podziałach danych na podzbiory treningowy i testowy.

Kwadratowa analiza dyskryminacyjna QDA oraz liniowa analiza dyskryminacyjna LDA mimo pojedynczych dobrych wyników dość mocno odstają od bardziej zaawansowanych klasyfikatorów najbliższego sąsiedztwa i sieci neuronowych o wartości od 3% do 7% przy treningu mocno reprezentatywnymi danymi. Przy mało reprezentatywnym podzbiorze uczącym najniższe wyniki LDA i QDA są o kilkanaście procent niższe niż wyniki osiągnięte przez perceptrony wielowarstwowe. Najniższy wynik uzyskany podczas wszystkich badań klasyfikatora V - k NCN wynoszący 58,1% jest raczej pojedynczym odstępstwem od reguły.

Celem pracy było stwierdzenie, który klasyfikator charakteryzuje się najwyższą skutecznością. Parametry badań miały w kompleksowy sposób umożliwić porównanie klasyfikatorów.

Zobrazowanie i analizę wyników oraz ostatecznie wybór najlepszego klasyfikatora oprę odpowiadając na następujące pytania znajdujące się poniżej.

1. Dla jakiego doboru zbioru uczącego uzyskuje się najlepsze rezultaty i dlaczego?

Najlepsze rezultaty uzyskuje się dla zbioru uczącego 50%50. Jest to jedyny zbiór, dla którego klasyfikatory osiągają 100% skuteczność. Dzieje się tak ponieważ istnieje duża wewnątrzgatunkowa różnorodność liści z różnych drzew jak i liści z jednego drzewa. Dopasowanie granicy decyzyjnej klasyfikatorów jest tym lepsze im zbiór uczący bardziej reprezentuje badane obiekty. Stąd najgorsze wyniki ma zbiór uczący złożony z wektorów cech liści jednego drzewa (1W), trochę lepsze taki złożony z wektorów cech części liści z trzech drzew (2W), jeszcze lepszy złożony z wektorów cech części liści z każdego drzewa (3W), a najlepszy zawierający wektory cech co drugiego ujęcia z bazy danych (50%50).

2. Czy zmiana długości wektora cech wpływa na skuteczność klasyfikacji i w jakim stopniu?

Zmiana długości wektora cech w znacznym stopniu wpływa na skuteczność klasyfikacji. Należy jednak zaznaczyć, że wektory cech 3 i 5 elementowe można uznać za zawierające zbyt mało informacji dla problemów wieloklasowych. Wyniki 100% uzyskano jedynie dla 10 i 11 elementowych wektorów cech tylko w problemie pięcioklasowym. Ważne jest więc aby wektor cech zawierał wystarczającą ilość informacji (nie był zbyt krótki) pozwalających na rozwiązanie problemu, natomiast zwiększenie długości wektora cech z 10 do 11 nie wpłynęło znacząco na skuteczność klasyfikacji.

3. Czy zastosowane klasyfikatory charakteryzuje podobna skuteczność?

Klasyfikatory NN oraz perceptron wielowarstwowy uzyskują wyniki od kilku do kilkunastu procent wyższe niż metody LDA i QDA w zależności od doboru zbioru uczącego oraz długości wektora cech.

4. Czy uzyskiwana skuteczność klasyfikacji jest zadowalająca?

Uzyskane wyniki klasyfikacji można uznać za zadowalające tylko dla problemu pięcioklasowego łatwego, gdzie dla dzu 3W uzyskany został maksymalny wynik 97,55%. Wieloklasowe problemy rozpoznawania liści nie są jednak na dzień dzisiejszy powiązane z produkcją przemysłową, gdzie zastosowanie konkretnego rozwiązania można przeliczyć na ograniczenie kosztów produkcji.

5. Czy zmiana liczby neuronów w warstwach ukrytych ma wpływ na skuteczność?

Zmiana liczby neuronów w warstwach ukrytych o niewielką liczbę nie zmienia w znacznym stopniu wyników. Pojawić się mogą wahania skuteczności do około 2%.

6. Który klasyfikator można wskazać jako najlepszy w opisanym zadaniu klasyfikacji i dlaczego?

Jako najlepszy uznaję klasyfikator oparty na perceptronie wielowarstwowym. Osiągnął on najlepsze wyniki, a także widzę dalsze możliwości poprawienia jego skuteczności. W łatwy sposób można by wprowadzić brak rozpoznania poprzez ustawienie minimalnej wartości jaka musi być uzyskana dla danego wyjścia aby uznać je za decydujące.

Bibliografia

- [1] Plewiński K., *Perceptron w zadaniu klasyfikacji*, Poznań 2012.
- [2] Pełczyński R., *Klasyfikator najbliższego sąsiedztwa*, Poznań 2012.
- [3] Zenker K., *Analiza dyskryminacyjna jako podstawa klasyfikacji*, Poznań 2012.
- [4] *Słownik współczesnego języka polskiego*, pod red. E. Wierzbicka, RD, Warszawa 1998
- [5] *Wikipedia*, http://pl.wikipedia.org/wiki/Moment_Zernike'a

Spis rysunków

Rys. 4.1 Struktura bazy zdjęć liści każdego gatunku [1]	7
Rys. 4.2 Gimp wtyczka python-fu	7
Rys. 4.3 Przedstawiciele gatunków	8
Rys. 5.1 Interfejs graficzny do analizy dyskryminacyjnej [3]	9
Rys. 5.2 Klasyfikator LDA, klasy separowalne [3]	10
Rys. 5.3 Klasyfikator LDA, klasy nieseparowalne [3]	10
Rys. 5.4 Klasyfikator QDA, klasy separowalne [3]	11
Rys. 6.1 Klasyfikatory NN [2]	12
Rys. 6.2 Klasyfikator kNN [2]	13
Rys. 5.4 Perceptron prosty [1]	14
Rys. 7.1 Nakładka graficzna na nntraintool [1]	15
Rys. 7.1 Struktura sieci wielowarstwowej [3]	16
Rys. 9.1 Skuteczności LDA i QDA problem dziesięcioklasowy	19
Rys. 9.2 Skuteczności LDA i QDA problem pięcioklasowy łatwy	20
Rys. 9.3 Skuteczności LDA i QDA problem pięcioklasowy trudny	20
Rys. 10.1 Skuteczności V-kNN i V-kNCN problem dziesięcioklasowy	21
Rys. 10.2 Skuteczności V-kNN i V-kNCN problem pięcioklasowy łatwy	22
Rys. 10.3 Skuteczności V-kNN i V-kNCN problem pięcioklasowy trudny	22
Rys. 11.1 Skuteczności sieci neuronowej z 1 warstwą ukrytą problem dziesięcioklasowy	23
Rys. 11.2 Skuteczności sieci neuronowej z 2 warstwami ukrytymi, problem dziesięcioklasowy	24
Rys. 11.3 Skuteczności sieci neuronowej z 1 warstwą ukrytą problem pięcioklasowy łatwy	25
Rys. 11.4 Skuteczności sieci neuronowej z 1 warstwą ukrytą problem pięcioklasowy trudny	25
Rys. 11.5 Skuteczności sieci neuronowej z 2 warstwami ukrytymi problem pięcioklasowy łatwy	27
Rys. 11.6 Skuteczności sieci neuronowej z 2 warstwami ukrytymi problem pięcioklasowy trudny	27
Rys. 13.1 Skuteczności klasyfikatorów dla badania porównującego problem dziesięcioklasowy	30
Rys. 13.2 Skuteczności klasyfikatorów dla badania porównującego problem pięcioklasowy łatwy	31
Rys. 13.3 Skuteczności klasyfikatorów dla badania porównującego problem pięcioklasowy trudny	31

Spis tabel

Tabela 9.1 Skuteczność LDA i QDA problem dziesięcioklasowy	19
Tabela 9.2 Skuteczność LDA i QDA problemy pięcioklasowe	20
Tabela 10.1 Skuteczności V- k NN i V- k NCN problem dziesięcioklasowy	21
Tabela 10.2 Skuteczności V- k NN i V- k NCN problemy pięcioklasowe	22
Tabela 11.1 Skuteczności sieci neuronowej z 1 warstwą ukrytą, problem dziesięcioklasowy	23
Tabela 11.2 Skuteczności sieci neuronowej z 2 warstwami ukrytymi, problem dziesięcioklasowy	24
Tabela 11.3 Skuteczności sieci neuronowej z 1 warstwą ukrytą, problemy pięcioklasowe	26
Tabela 11.4 Skuteczności sieci neuronowej z 2 warstwami ukrytymi, problemy pięcioklasowe	28
Tabela 13.1 Skuteczności klasyfikatorów dla badania porównującego problem dziesięcioklasowy	30
Tabela 13.2 Skuteczności klasyfikatorów dla badania porównującego problemy pięcioklasowe	31

Załącznik 1 – Pełne tabele wyników(10 lub 30 powtórzeń eksperymentu) sieci neuronowych.

Strona 1 - 11.1 Problem dziesięcioklasowy dla sieci z 1 warstwą ukrytą

Strona 7 - 11.2 Problem dziesięcioklasowy dla sieci z 2 warstwami ukrytymi

Strona 13 - 11.3 Problem pięcioklasowy dla sieci z 1 warstwą ukrytą, 11 i 25 neuronów

Strona 21 - 11.4 Problem pięcioklasowy dla sieci z 2 warstwami ukrytymi

Strona 27 - 13.1 Wyniki badań porównawczych problem 10 klasowy

Strona 29 - 13.2 Wyniki badań porównawczych problemy 5 klasowe

11.1 Problem dziesięcioklasowy dla sieci z 1 warstwą ukrytą

x-17-10 Problem 10 klasowy dzu 50%50%

X =	3	5	7	10
	75,44	88,6	92,52	95,24
	74,76	89,8	93	94,04
	74,52	88,72	91,76	94,52
	75,84	87,2	93,04	93,48
	75,04	86,84	92,16	94,24
	74,96	88,12	92,72	93,24
	74,12	88,88	92,44	94,36
	75,68	89,64	91,64	94,4
	74,28	86,76	92,4	94,6
	74,2	88,08	93,04	94,36
max	75,84	89,8	93,04	95,24

x-17-10 Problem 10 klasowy 1 drzewo dzu 1W

	3	5	7	10
	57,48	66,25	71,03	69,1
	59,08	64,68	69,25	74,45
	60,68	65,3	60,75	67,58
	61,7	67,65	64,68	70,13
	57,4	59,73	73,78	71,35
	62,65	64,78	65,55	67,05
	60,05	71,1	70,35	71,6
	60,25	67,55	65,38	71,08
	60,68	67,6	68,43	64,93
	58,95	67,1	65,43	75,9
max	62,65	71,1	73,78	75,9

x-17-10 Problem 10 klasowy 3 drzewa dzu 2W

	3	5	7	10
	67,19	74,08	79,19	81,06
	66,56	73,7	76,58	78,76
	66,81	73,32	73,67	76,84
	64,58	74,68	79,47	77,29
	65,72	71,92	76,3	78,58
	62,05	73,8	80,38	79,47
	62,68	75,44	74,46	80,05
	65,77	72,1	77,72	77,54
	63,19	69,32	72,96	79,32
	63,57	70,2	73,77	77,52
max	67,19	75,44	80,38	81,06

x-17-10 Problem 10 klasowy 5 drzew dzu 3W

	3	5	7	10
	64,7	75,08	81,38	80,1
	64,9	75,85	78,45	82,53
	65,75	74,85	79,35	81,88
	65,65	74,48	80,1	81,1
	63,98	73,63	79,45	77,3
	69,13	73,68	78,55	80,68
	64,23	74,23	78,3	80,78
	67,13	73,85	81,5	83,03
	68,93	80,05	77,33	83,23
	64,95	76,28	80,7	82,83
max	69,13	80,05	81,5	83,23

x-20-10 Problem 10 klasowy dzu 50%50

X =	3	5	7	10
	75,52	86,88	92,56	93,56
	75,28	87,92	92,72	94,2
	74,92	88,72	93,8	94,6
	75,2	87,48	93,52	94,44
	74,92	88,4	93,72	94
	75,84	88,56	92	94,84
	75,04	89	92,56	95,2
	72,84	87,28	92,72	94,92
	75,36	88,6	93	93,48
	75,76	88,92	92,48	95,36
max	75,84	89	93,8	95,36

x-20-10 Problem 10 klasowy 1 drzewo dzu 1W

	3	5	7	10
	54,5	67,5	67,73	72,1
	59,15	65,18	65	69,73
	60,08	61,75	71,65	69,8
	60,43	65,8	70,25	66,7
	59,93	65,05	65,78	70,78
	50,1	65,38	69,43	70,6
	55,48	64,55	69,13	72,4
	59,53	68,33	66,55	67,98
	55,1	64,85	65,75	70,7
	60,18	61,9	67,85	68,73
max	60,43	68,33	71,65	72,4

x-20-10 Problem 10 klasowy 3 drzewa dzu 2W

	3	5	7	10
	65,01	71,97	78,89	78,76
	67,29	72,28	73,92	79,75
	63,8	73,37	77,97	80,1
	63,82	73,16	78,76	78,28
	64,03	70,71	76,43	79,11
	67,29	70,91	80,03	76,76
	63,82	72,03	77,06	79,57
	65,85	75,42	79,47	78,94
	66,73	72,81	77,87	78,28
	64,73	73,52	79,04	74,71
max	67,29	75,42	80,03	80,1

x-20-10 Problem 10 klasowy 5 drzew dzu 3W

	3	5	7	10
	65,83	72,98	82,88	82,65
	69,43	76,7	79,13	83,45
	67,75	76,05	79,48	83,1
	67,28	76,2	76,93	80,95
	64,18	73,45	76,75	82,85
	65,4	77,35	81,35	78,98
	68,08	77,6	78,5	79,63
	68,18	78,05	83,3	81,55
	64,33	71,45	77,5	81,53
	67,28	73,93	75,68	82,95
max	69,43	78,05	83,3	83,45

x-23-10 Problem 10 klasowy dzu 50%50

	3	5	7	10
	73,4	87,48	92,68	94,76
	76,32	88,2	93,28	96,6
	75,32	90,2	91,32	94,08
	73,2	82,16	93	95,68
	74,96	88,36	92,76	94,48
	74,92	88,92	92,6	93,32
	74,68	89	92,6	95,44
	74,36	86,92	93,28	95,32
	77,92	90,32	93,76	94,72
	76,6	88,32	93,84	96,2
max	77,92	90,32	93,84	96,6

x-23-10 Problem 10 klasowy 1 drzewo dzu 1W

	3	5	7	10
	59,85	66,1	68,63	67,58
	57,63	66,13	70,2	72,8
	59,35	65,8	69,25	71,73
	55,75	58,03	67,58	74,25
	59,98	61,48	67,3	74,15
	54,58	67,28	68,05	72,3
	54,8	66,28	58,08	69
	59,93	69,93	66,08	67,85
	60,35	65,05	65,58	69,35
	59,48	66,23	75,73	68,83
max	60,35	69,93	75,73	74,25

x-23-10 Problem 10 klasowy 3 drzewa dzu 2W

	3	5	7	10
	65,22	70,81	75,67	80,58
	64,03	74,71	76,94	78,3
	62,58	70	79,39	76,08
	62,15	73,92	76,1	73,85
	67,59	74,76	79,42	74,03
	63,32	69,72	75,01	77,22
	65,32	69,52	78,89	76,28
	62,15	72,96	76,38	79,24
	65,75	72,76	75,16	80,68
	65,54	74,03	79,24	78,41
max	67,59	74,76	79,42	80,68

x-23-10 Problem 10 klasowy 5 drzew dzu 3W

	3	5	7	10
	69,48	74,5	77,45	81,68
	66,95	76,2	78,78	81,6
	65,3	75,1	77,45	80,2
	67,3	73,8	79,23	82,6
	57,15	72,43	75,05	79,9
	66,23	73,8	74,85	80,4
	63,3	74,5	80,78	78,45
	65	72,6	80,1	82,7
	67,78	76,25	81,18	83,18
	62,88	77,23	82,63	83,2
max	69,48	77,23	82,63	83,2

11.2 Problem dziesięcioklasowy dla sieci z 2 warstwami ukrytymi

x-23-10-10 Problem 10 klasowy dzu 50%50

X =	3	5	7	10
	76,16	88,16	91,88	95,04
	76,64	89,08	92,96	95,12
	76,08	88,6	93,52	94,28
	75,4	89,84	94,56	94,84
	75,6	88,44	94,08	95,24
	73,96	90,96	93,68	86
	75,84	89,08	93,48	93,72
	76,04	91,12	92,64	94,12
	76,28	89,08	94,32	96,64
	74,12	88,36	93,84	94,08
max	76,64	91,12	94,56	96,64

x-23-10-10 Problem 10 klasowy 1 drzewo dzu 1W

X =	3	5	7	10
	55,68	65,65	68,6	68
	59,25	67,18	72,5	73,05
	60,43	71,18	70,08	74,3
	55	68,33	65,95	75
	57,48	63,98	72,6	71,68
	57,28	66,9	63,73	74,65
	53,15	65,93	73,28	74,38
	57,58	63,93	74,48	76,5
	55	65,43	72,03	73,98
	55,95	65,13	69,35	67,35
max	60,43	71,18	74,48	76,5

x-23-10-10 Problem 10 klasowy 3 drzewa dzu 2W

X =	3	5	7	10
	67,82	71,04	77,01	79,65
	66,66	72,2	78,18	75,57
	65,57	72,94	78,78	77,01
	65,95	74,73	76,23	76,51
	62,48	70,28	75,14	75,7
	64,81	74	77,44	78,08
	66,56	75,57	73,62	82,76
	64,08	73,49	78	77,47
	63,49	73,85	75,04	78,03
	64,3	74,1	75,34	76,84
max	67,82	75,57	78,78	82,76

x-23-10-10 Problem 10 klasowy 5 drzew dzu 3W

X =	3	5	7	10
	66,85	73,6	79,5	81,83
	66,88	76,4	80,58	80,9
	68,15	73,4	81,58	82,65
	67,33	75,33	80,08	82,48
	67,65	74,8	79,88	81,35
	67,55	74,65	81,73	82,78
	61,73	75,33	79,05	81,4
	66,7	74,78	79,45	79,58
	65,43	71,28	79,55	81,98
	65,05	75,5	80,18	81,43
max	68,15	76,4	81,73	82,78

x-20-10-10 Problem 10 klasowy dzu 50%50

X =	3	5	7	10
	76,24	90,6	94,12	95,48
	76,32	90,48	93,8	95,04
	76,4	89,48	93,52	95,12
	76,12	89,92	92,68	94,16
	73,4	88,56	94,4	93,96
	75,68	88,76	93,08	94,44
	75,92	87,04	93,96	94,4
	74,72	92,08	94,56	95,2
	77,32	90,24	93,64	94,24
	75,72	87,76	93,68	94,72
max	77,32	92,08	94,56	95,48

x-20-10-10 Problem 10 klasowy 1 drzewo dzu 1W

X =	3	5	7	10
	55,88	67,6	72,4	75,53
	53,95	67,98	67,58	68,63
	60,65	66,75	68,03	73,33
	59,9	62,15	71,85	73,48
	56,88	65,5	71,43	75,1
	57,28	64,48	72,68	74,75
	59,45	64,5	67,78	74,68
	56,75	53,4	68,08	72,68
	59,28	70,23	67,98	72,68
	52,85	62,85	65,6	70,93
max	60,65	70,23	72,68	75,53

x-20-10-10 Problem 10 klasowy 3 drzewa dzu 2W

X =	3	5	7	10
	61,06	73,42	77,65	76,96
	63,65	69,42	78,86	79,32
	65,27	71,8	77,37	80,68
	67,59	71,54	78,66	79,39
	63,7	73,77	76,08	76,05
	61,42	74,46	78,15	81,11
	63,39	71,06	74,23	78,86
	66,53	75,32	78,71	78,99
	64,89	74,63	72,56	80,05
	63,9	73,54	77,72	78,25
max	67,59	75,32	78,86	81,11

x-20-10-10 Problem 10 klasowy 5 drzew dzu 3W

X =	3	5	7	10
	66,73	74,85	76,45	82,08
	63,85	76,93	79,4	80,68
	65,48	74,98	76,98	81,28
	67,43	74,05	77,88	81,6
	67,58	79,43	83,08	80,5
	68,65	72,08	79,6	82,15
	67,35	76,83	81,63	81,08
	66,98	72,45	79,85	80,78
	66,6	76,98	81,9	82,9
	66,95	74,28	78,98	81,93
max	68,65	79,43	83,08	82,9

x-17-10-10 Problem 10 klasowy dzu 50%50

X =	3	5	7	10
	75,16	84	94,28	94,88
	76,72	89,76	91,16	95,04
	75,68	89,04	93,48	94,92
	73,4	88,68	92,96	93,8
	76,28	90,92	93,28	93,72
	76,76	88,52	93,76	95,36
	77,16	89,36	93,08	86,12
	75,2	90,08	91,28	94,96
	74,72	89,12	92,32	95,56
	74,56	88,92	91,64	94,68
max	77,16	90,92	94,28	95,56

x-17-10-10 Problem 10 klasowy 1 drzewo dzu 1W

X =	3	5	7	10
	57,63	68,55	68,6	70,18
	60,7	66,7	73	72,4
	58,53	65,15	73,08	73,55
	57,83	67,05	70,18	75,13
	60,15	65,83	67,2	75,98
	60,1	65,73	70,45	74,1
	56,5	61,73	68,78	77,28
	57,63	66,95	70,05	70,73
	56,58	61,98	68,08	75,35
	60,68	66,6	71,7	74,63
max	60,7	68,55	73,08	77,28

x-17-10-10 Problem 10 klasowy 3 drzewa dzu 2W

X =	3	5	7	10
	63,57	71,95	76,99	74,68
	63,04	72	79,01	81,29
	62,81	74,43	74,48	80,1
	65,95	72,33	74,28	80,2
	64,73	76	75,77	77,65
	63,92	70,15	78,96	80,25
	64,73	75,59	76,18	77,62
	64,71	69,54	78,25	78,84
	65,82	71,32	76,46	78,84
	64,99	75,04	77,59	79,19
max	65,95	76	79,01	81,29

x-17-10-10 Problem 10 klasowy 5 drzew dzu 3W

X =	3	5	7	10
	67,83	76,35	77,98	80,6
	66,45	77,05	78,85	79,6
	65	76,35	81,03	81,85
	68,68	77,08	81,25	81,73
	64,93	79,6	79,7	84,05
	65,03	76	79,2	81,23
	64,95	77,3	79,4	84,08
	65,28	73,95	77,65	81,55
	67,7	78,18	80,65	83,9
	62,75	77,03	76,68	81,43
max	68,68	79,6	81,25	84,08

11.3 Problem pięcioklasowy dla sieci z 1 warstwą ukrytą, 11 i 25 neuronów

Dzu 50%50% , 11 neuronów w warstwie ukrytej

	Problem 5 klasowy ŁATWY				Problem 5 klasowy TRUDNY			
x=	3	5	7	10	3	5	7	10
	93,2	97,92	98,88	99,76	74	90,48	92,88	95,84
	93,68	98,88	98,48	99,12	72,56	90,16	92,8	95,44
	94,16	97,52	99,2	99,2	78,4	88,64	93,28	94,56
	93,04	98,32	99,68	99,6	73,44	89,92	92,32	96,96
	94	98,32	99,12	99,68	78,4	85,36	95,44	96,16
	93,36	98,4	99,68	99,52	41,28	87,68	74,24	94
	59,6	98,96	99,28	98,96	76,32	89,68	91,04	95,04
	93,36	98,08	98,88	99,04	77,68	90,32	91,84	94,8
	92,8	98,96	99,28	99,44	75,6	82,72	92,8	77,04
	93,2	97,28	99,68	98,96	78,24	85,84	87,92	96,96
	93,52	97,52	99,2	99,76	77,44	85,52	93,52	94,64
	93,6	98,48	99,44	99,52	75,12	87,36	93,36	95,2
	94,16	98,32	99,44	99,36	76,08	88,16	92,48	94,4
	92,4	98,08	98,88	99,52	75,76	89,2	92,16	94,64
	93,76	98,8	99,2	99,2	76,56	88,4	90,96	95,52
	93,04	97,68	98,08	99,2	76,24	87,92	94,4	97,04
	93,28	98,16	99,04	99,52	76,4	88,16	93,04	95,2
	93,12	98,56	98,56	99,52	74,32	88,64	94,24	94,88
	93,44	98,8	99,2	99,44	73,36	75,2	94,4	94,72
	93,12	98,24	98,4	99,84	67,92	89,36	93,6	93,52
	92,64	97,6	99,44	99,68	76,16	89,44	93,28	94,24
	76,72	96,72	99,52	99,84	76,32	85,04	95,28	74,8
	94,24	98,56	99,2	98,96	78,56	84,72	92,4	96,48
	92,56	97,84	98,8	99,44	74,4	86,72	93,6	96,08
	94,32	98,96	99,6	99,76	76,16	86,56	95,12	96,48
	93,36	98,72	99,28	99,36	79,52	90,16	92,96	96,72
	92,8	98,56	98,56	99,44	76,24	90,08	93,44	94,8
	93,84	98	99,68	99,68	72,48	88,16	57,52	93,6
	93,44	98,8	99,28	99,36	74,56	90,24	91,44	96
	93,52	98,8	98,72	99,36	77,12	88,8	92,16	93,52
max	94,32	98,96	99,68	99,84	79,52	90,48	95,44	97,04

dzu 1W, 11 neuronów w warstwie ukrytej

	Problem 5 klasowy ŁATWY				Problem 5 klasowy TRUDNY			
x=	3	5	7	10	3	5	7	10
	74,45	74,4	80,55	78,55	62,75	71,45	78,4	80,95
	79,8	75	76,7	82,85	62,35	65,9	75,6	74,25
	73,6	77,05	75,75	81,5	59,65	69,65	75,8	80,85
	77,9	77,65	78,75	83,6	60,15	73	77,3	78,45
	77,95	75,85	79,05	82,25	64,5	66,35	76,05	81,05
	77,05	74	82,85	84,05	62,8	68,25	81,35	81,25
	81,65	78,1	76,4	81,8	63,55	72,3	81,75	80,05
	74,95	77,25	83,05	84,2	64,9	69,55	74,05	83,5
	76,8	70,2	81,3	83,15	61,95	71,95	77,8	79,35
	77,6	77,15	83,25	81,15	65,75	71,05	80,05	79,95
	79,45	76,45	81,95	79,25	60,05	71,55	82,05	83,75
	78,7	80,45	80,85	80,4	64,25	68,1	79,1	79,1
	72,95	75,7	79,9	82,9	66,8	66,75	78,75	78,25
	74,4	78	78,65	79,9	66,25	63	75	81,05
	76,95	74,65	64,85	78,85	64,9	72,8	76,45	78,1
	77,45	78,55	75,85	83,45	58,3	65,8	81,95	78,15
	69,65	77,15	66,45	84,55	62,6	64,5	79,05	82,85
	20	77,55	79,85	83,65	63,05	72,1	79,85	82
	73,85	76,8	77,6	82,2	60,9	70,4	80,95	78,7
	76,8	78,65	77,2	77,9	60,85	67,8	82,3	73,7
	75,2	74,4	80,75	78,95	64,95	69,45	79,55	75,55
	76,65	80	74,95	79,7	61,75	68,9	82	83,45
	74,85	79,8	78,3	82,6	58,15	69,1	50,25	81,05
	75,25	83,3	80,8	82,3	60,8	72,2	80,8	80,75
	76	73,55	77,8	81,85	65,85	58,95	81,65	81,5
	79,7	77,9	80,35	78,05	58,65	72,2	75	80,35
	79,7	78,4	81,2	83,35	61,9	75	77,5	82,65
	79,8	77,3	78,65	79,6	67,2	64,45	78,15	83,15
	75,8	81,3	77,9	82,45	63,9	69	81,4	82
	71,75	79,85	79,3	81,1	59,4	69,45	78,65	77,55
max	81,65	83,3	83,25	84,55	67,2	75	82,3	83,75

du 2W, 11 neuronów w warstwie ukrytej

	Problem 5 klasowy ŁATWY				Problem 5 klasowy TRUDNY			
x=	3	5	7	10	3	5	7	10
	86,38	92	89,72	87,04	68,96	73,77	81,57	84,76
	86,89	88,3	88,76	88,15	67,95	71,19	76,66	82,84
	85,67	88,2	89,27	92,2	68,41	73,42	82,08	81,32
	88,1	88,56	93,16	89,32	70,03	72,76	81,37	82,53
	87,09	89,27	86,43	90,99	65,22	70,99	79,19	81,87
	85,62	88,2	90,53	90,78	68	76,3	78,38	80,56
	87,95	83,24	86,48	89,82	64,56	76,3	82,63	83,29
	87,04	87,54	89,47	90,58	68,76	75,49	79,14	82,48
	85,37	82,58	88,96	90,18	57,52	78,48	81,77	84,05
	89,11	87,14	88,15	90,28	66,58	74,13	82,03	84,3
	89,82	57,87	90,08	93,77	60,66	75,29	81,32	84,76
	88,25	90,08	89,82	91,8	52,41	78,13	75,65	84,15
	89,82	87,39	89,87	90,48	64,51	72,35	74,48	83,29
	87,49	90,84	87,39	89,62	66,18	76,71	80	83,65
	86,89	89,77	89,62	90,03	67,34	66,43	80,66	81,16
	88,86	91,95	90,08	89,62	61,22	75,85	83,59	85,52
	87,29	83,44	88,66	92,96	66,63	74,38	78,33	69,32
	38,13	86,13	92,25	92,91	66,03	75,39	82,33	81,77
	87,59	88,96	88,35	92,15	65,82	74,18	79,29	84,35
	88,71	86,08	94,13	91,04	70,99	71,95	81,57	79,49
	86,94	85,47	89,72	92,86	67,7	73,97	84,35	83,9
	88,35	87,95	89,92	89,01	68,96	78,03	79,65	79,14
	84,15	84,3	87,75	92,15	60,05	76,05	78,13	84,15
	88,96	90,68	90,53	91,14	69,97	77,47	79,65	84,2
	85,92	90,89	90,58	91,8	67,29	72,61	78,63	80,61
	90,38	88,61	70,89	89,82	68,81	69,42	75,49	82,63
	86,48	88,05	89,32	92,1	69,67	77,52	79,85	82,73
	87,7	89,42	92,15	92,2	68,25	73,42	78,48	80,41
	88,25	88,25	92,56	90,28	69,11	74,99	80,86	80,25
	82,68	90,08	87,59	90,58	68,76	74,13	83,49	74,68
max	90,38	92	94,13	93,77	70,99	78,48	84,35	85,52

dzu 3W, 11 neuronów w warstwie ukrytej

	Problem 5 klasowy ŁATWY				Problem 5 klasowy TRUDNY			
x=	3	5	7	10	3	5	7	10
	86,05	91,35	90,1	93	66,95	76,8	77,35	84,4
	83,3	92,25	93,2	96,9	69,6	75,3	80,6	82,7
	88,25	91,9	91,65	92,75	68,4	77	79,9	83,7
	87,95	91,75	90,25	93,25	68	78,05	79,25	83,75
	82,95	92,55	92,45	92,3	68,45	78,3	80,25	85
	86,85	91,35	92,85	95,7	72,2	74,25	84,8	84,35
	88	93,6	93,5	92,6	66,15	73,45	82,45	80,8
	90,05	92,3	91,75	92,45	67,05	75,75	66,55	85,2
	88	91	93,1	94,25	65,8	74,3	83,7	82,35
	88,95	93,05	94	94	69,95	78,9	82,05	84,45
	86,15	92,55	91,55	92,05	67,7	76,9	82,05	85,2
	83,9	91,45	90,95	93,1	67,05	72	80,4	85,55
	87,65	93,8	92,5	92,75	71,75	75,85	79,5	85,4
	88,45	91,45	92,15	95,55	69,15	76,45	79,3	85,6
	84,8	90,4	92,2	92,9	66,85	77,75	79,85	85,75
	88,9	46,55	91,75	93,9	67,15	77,45	82,5	83,35
	88	91,35	93,95	94,25	67,75	74,6	79,7	83,3
	90,1	89,95	93,4	92,4	67,95	80,7	80,15	84,95
	87,2	92,95	92,1	95	69,55	76,35	82,15	85
	89,8	93	93,95	92,5	66,65	77,35	79,75	84,25
	84,65	93,75	95	93,8	69,1	74,9	77,8	83,45
	85,65	93,1	93,1	94,05	70,8	76	82,2	82,15
	88,4	92,3	93,35	92,5	65,95	72,6	79,6	84,3
	88,85	92,85	74,7	93,8	65,7	74,5	80,4	84
	86,05	92,15	92,9	92,55	67,75	73,7	75,95	80,45
	86,25	92,2	93,6	94,25	66,4	77,6	82,4	83,35
	84,85	93,1	91,75	93,35	67,75	75,6	79,2	83,9
	87,55	93,1	92,3	94,2	67,25	75,35	82,55	82,85
	86,85	92,5	90,1	92,8	65,25	78,7	82,3	84
	85,7	92,4	94,15	94,35	66,85	79,85	84,65	83,3
max	90,1	93,8	95	96,9	72,2	80,7	84,8	85,75

dzu 50%50, 25 neuronów w warstwie ukrytej

	Problem 5 klasowy ŁATWY				Problem 5 klasowy TRUDNY			
x=	3	5	7	10	3	5	7	10
	91,52	99,12	99,36	99,92	78,24	91,92	94,4	96,4
	93,2	98,4	99,68	99,04	76,64	92,08	94,96	96,64
	93,2	98,88	99,6	99,44	75,84	91,52	94,88	94,88
	93,44	99,12	98,56	100	75,68	93,6	95,76	95,52
	93,6	99,04	99,6	99,28	75,92	88,88	95,04	97,04
	93,44	99,04	99,68	99,04	78,24	89,12	94,4	94,32
	92,64	98,88	99,28	99,04	76,96	90,24	95,2	77,36
	92,96	98,72	99,36	99,44	76,24	90,24	94,88	95,04
	94,24	98,4	79,2	98,8	76,16	92,88	94,16	95,04
	93,2	98,64	98,96	99,76	73,2	90,88	95,68	76,32
	92,96	97,92	99,44	99,36	74,32	90,88	94,8	98,08
	93,76	98,8	98,88	99,6	74	90,72	93,36	96,72
	96	98,96	98,88	99,68	59,04	87,92	95,92	96
	93,2	98,8	99,84	99,76	78	90,4	96,16	96,64
	94,24	98,56	99,52	99,12	72,96	92,32	94,96	96,72
	93,68	98,4	99,36	99,52	77,44	91,68	95,76	95,04
	92,8	98,4	79,52	99,12	79,04	88,8	96,24	97,6
	92,96	98,96	99,2	99,28	78,32	90,96	94,08	94,8
	93,92	98,08	99,36	99,04	79,52	91,44	94,88	94
	92,72	99,52	99,52	99,2	76,72	92,48	95,28	97,84
	93,28	99,04	99,36	99,12	77,92	89,68	95,6	78,24
	94,16	98,72	98,64	99,12	73,92	89,68	93,04	96,48
	93,36	98,32	99,28	99,44	75,36	89,84	92,64	95,84
	94,16	98,88	99,68	99,36	74,96	91,52	94,48	95,2
	94,48	98,56	99,84	98,8	69,52	92,4	94,16	95,28
	94	98,64	99,84	99,52	79,2	86,48	94,72	94,72
	40	98,56	98,72	99,28	75,76	88,72	94,8	96,4
	95,68	98,96	99,28	99,68	76,16	89,6	93,76	94,88
	94,08	98,48	99,2	99,52	73,28	90,4	94,96	94,64
	92,48	98,8	98,64	99,44	76,72	88,72	96,4	94,08
max	96	99,52	99,84	100	79,52	93,6	96,4	98,08

dzu 1W, 25 neuronów w warstwie ukrytej

	Problem 5 klasowy ŁATWY				Problem 5 klasowy TRUDNY			
x=	3	5	7	10	3	5	7	10
	73,3	70,95	76,7	82,55	65,7	72,4	77,05	82,5
	69,85	77,3	82,65	82,7	62,85	69,25	80,5	81,5
	76,95	78,45	78,75	82,2	62,65	69,45	82,5	81,25
	72	77,05	80,2	82,6	62,5	71,9	75,7	79,2
	60,65	77,05	83,25	83,5	66,65	71,65	80,8	81,15
	76,6	75,65	83,1	85,4	63,15	66,6	79	79,45
	77,4	77,95	78,3	80,85	68,7	66,9	77,65	80,75
	75,25	74,95	81,05	81,5	63,7	68,25	78,8	78,1
	76,55	75,65	80,15	82,6	59,1	67,3	79,3	80,05
	80,6	47,85	82,6	79,15	59,85	75,45	81,35	80,6
	74,3	78,5	79,7	82,55	64,85	63,35	81,25	83,25
	73,55	80,35	81,65	82,3	60,6	72,8	80,25	80,45
	74,6	77	76,55	82,55	66,5	75,2	77,25	79,1
	76,45	78	77,95	81,1	64,75	64,65	84,6	77,7
	76,6	77,05	77,05	80,45	67,4	70,7	80,6	83,7
	74,75	79,55	80,95	82,25	63,8	76,65	81,55	84,3
	76,6	76,05	78,15	82,6	64,3	69,35	67,2	78,9
	75,2	77,15	79,65	82,35	66,25	71,7	80,6	80,2
	78,7	76,25	77,45	64,15	60,5	71,2	80,5	82,4
	73,25	78,05	80,85	82,15	63,05	69,3	80,45	83,3
	49,35	78,35	78,7	82,95	65,1	66,95	82,35	70,65
	78,5	75,35	79,7	81,85	63,5	68,25	76,25	79,7
	78,3	77,5	76,75	86	64,15	71,8	79,35	82
	76,25	76,1	76,9	82,1	63,5	71,2	83,45	80,55
	73,5	78,9	79	85,2	63,75	68,9	79	55,3
	79,6	78,5	80,05	82,35	64,5	72	76,15	78,35
	77,5	77,7	80,6	83,1	65,65	72,75	77,05	83,25
	73,1	64,45	78,6	82,05	66	71,55	83	84,75
	75,9	78,45	79,95	80,5	64,8	53,55	83,25	78,55
	75,25	79,2	78,8	83,8	63,55	67,95	82,5	63,9
max	80,6	80,35	83,25	86	68,7	76,65	84,6	84,75

dzu 2W, 25 neuronów w warstwie ukrytej

	Problem 5 klasowy ŁATWY				Problem 5 klasowy TRUDNY			
x=	3	5	7	10	3	5	7	10
	88,05	89,22	87,09	90,53	62,78	74,13	83,29	82,84
	86,08	89,57	90,38	90,89	70,53	76,1	82,99	86,43
	88,91	89,01	90,23	92,41	64,96	72,71	78,78	83,19
	86,89	88,51	89,97	94,43	69,52	77,16	77,97	82,68
	87,7	90,33	91,04	93,92	65,67	75,29	76,96	84,25
	72,76	89,72	91,09	92,76	66,03	74,63	80,56	83,04
	85,92	90,13	87,39	91,54	66,18	70,48	81,22	83,7
	86,84	88,25	91,59	90,18	61,27	74,13	79,85	83,59
	85,01	92	89,37	94,23	38,58	74,48	80,41	84,76
	86,28	87,49	88,61	92,41	66,63	73,37	78,23	83,09
	83,34	87,34	89,01	90,94	69,06	72,66	80,66	86,43
	87,44	69,72	87,09	90,78	70,73	65,87	75,9	85,47
	86,08	90,48	88,86	90,99	68,15	70,13	81,37	76,46
	87,75	87,85	90,28	91,39	54,08	74,78	81,01	82,03
	89,47	84,56	87,54	91,59	61,67	73,22	80,15	85,32
	87,65	88,76	89,72	92,46	60,41	75,34	79,14	81,92
	86,78	85,01	92,51	92,25	61,57	76,71	80,61	82,84
	90,48	87,04	89,11	91,34	72,51	73,06	76,66	84,91
	88,61	87,19	93,87	90,94	68,66	76,2	80,41	81,47
	86,99	86,99	91,9	90,38	70,33	77,67	77,77	81,62
	85,72	90,94	89,77	89,97	40,51	74,23	80,3	82,84
	87,14	89,42	89,16	90,84	70,63	73,16	81,37	85,22
	87,54	87,04	88,41	90,03	60,46	75,04	39,75	84,66
	86,99	87,49	72,86	87,75	67,75	73,87	77,87	83,34
	88,41	91,49	91,14	89,01	69,77	70,18	77,72	86,33
	89,77	90,43	86,28	89,92	67,75	71,95	80,3	83,19
	89,72	86,68	89,67	93,82	67,24	74,48	84,81	83,19
	85,22	88	87,7	89,92	67,34	73,06	83,34	83,04
	84,96	88,56	88,61	90,68	69,47	73,32	80,76	83,9
	87,04	90,08	86,73	92,2	68,25	72,46	79,19	82,73
max	90,48	92	93,87	94,43	72,51	77,67	84,81	86,43

dzu 3W, 25 neuronów w warstwie ukrytej

	Problem 5 klasowy ŁATWY				Problem 5 klasowy TRUDNY			
x=	3	5	7	10	3	5	7	10
	89,25	93,3	92,05	93,7	66,8	72,05	81,05	85,05
	90,75	92,3	93,55	93,7	67,8	75,5	82,65	83,75
	86,9	92,05	93,35	75,55	69,9	76,25	82,35	84,25
	88,5	92,95	93,85	94,4	61,45	73,1	82,55	82,85
	85,85	92,35	94	93,8	69,9	74,95	81,75	85,8
	84	95,05	91,5	92,05	72,55	76,9	81,65	83,95
	89,5	91,9	95,7	93,3	70,1	76,15	81,35	84,7
	87,45	91,6	91,95	93,3	66,3	74,8	82,7	84,3
	90,4	93,25	92,25	94,8	63,7	74,7	83,55	84,15
	88,9	56,1	93,35	94,45	70,3	75,8	80,4	84,65
	88,2	94,4	93,2	96,7	69,35	76,05	79,5	86,2
	38,95	92,8	84,9	92,75	69,6	78,65	80,7	84,05
	86,65	93,45	93,1	94,4	69,7	76,2	40,4	86,55
	89,2	93,05	93,7	93,4	69,2	77	78,8	84,3
	86,5	92,8	75,5	94,75	70,1	78,25	79,8	71,25
	88,4	91	94,75	93,4	71,55	78,45	81,4	73,35
	71,2	93,3	92,15	93,3	69,1	75,95	81,5	39
	88,55	93,7	92,4	92,6	71,55	77,7	83,05	83,8
	88,6	94,05	93,05	94,15	68,7	75,5	80,75	84,45
	84,55	92,65	93,65	94,3	71,95	73,3	81,8	85,3
	88,3	91,2	74,55	94,5	67,9	77,1	83,15	86,3
	91,4	75	93,4	93,25	70,95	68,35	80,6	86,8
	85,15	90,6	94,4	93,45	70,95	76,7	80,9	85,6
	89,15	93,45	92,8	93,5	53,2	75,3	80,15	85,65
	88,4	92,7	91,15	92,85	64,6	79,2	79,15	84,9
	89,7	93,05	92,65	94,15	69,4	76,8	80,35	83,1
	88,5	92	95,65	94,95	69,55	75,85	83,55	83,5
	88,05	92,4	93,35	93,15	68,15	80,35	83,95	84,8
	88,95	93,2	92	93,8	69,65	78,65	82,25	84,45
	86	94,45	93,25	93,45	67,35	75,5	79,5	84,4
max	91,4	95,05	95,7	96,7	72,55	80,35	83,95	86,8

11.4 Problem pięcioklasowy dla sieci z 2 warstwami ukrytymi

x-10-6-5 dzu 50%50

	Problem 5 klasowy ŁATWY				Problem 5 klasowy TRUDNY			
x=	3	5	7	10	3	5	7	10
	93,44	98,48	99,36	98,96	76,64	89,04	89,92	94,24
	94,48	97,76	98,96	99,84	74,32	92,24	76,56	95,68
	93,76	99,2	98,32	79,92	76,56	86	93,36	95,04
	92,64	98,32	99,52	99,76	68,8	88,56	94	95,92
	93,28	98,4	99,12	99,12	74,08	88	93,68	95,28
	92,64	97,68	98,32	99,6	78,4	88,24	95,04	93,6
	94,48	97,68	99,12	99,28	78,96	88,08	92,56	92,4
	95,04	98,56	98,4	99,6	75,92	88,4	92,24	93,44
	78,16	98,56	98,88	99,84	76	89,44	91,36	93,04
	93,52	98,24	98,48	98,24	76,56	86,72	93,84	94,24
max	95,04	99,2	99,52	99,84	78,96	92,24	95,04	95,92

1 drzewo dzu 1W

x=	3	5	7	10	3	5	7	10
	75,05	79,15	81,65	80,4	54	60,45	75,55	83,35
	76,4	77,15	82,55	84	60,35	72,75	80,8	81,25
	78,15	77,7	80,65	85,75	62,05	39,7	83,55	82,2
	78,1	78,65	79,55	82,2	59,4	71,4	79,35	81,55
	74,85	79,6	83,55	84,45	64,1	69,7	77,95	82,4
	74,85	76,35	79,65	81,1	63,65	61,25	80,05	68,65
	77,55	77,75	82,1	88,1	61,35	75,3	72,1	81,8
	83,5	77,8	77,3	85,45	61	72,85	77,7	81,4
	64,35	78,35	81,55	84,5	62,35	72,3	80,45	82
	78,35	75,7	79,05	82,5	60,1	68,55	73,75	84,05
max	83,5	79,6	83,55	88,1	64,1	75,3	83,55	84,05

x-10-6-5 3 drzewa dzu 2W

	Problem 5 klasowy ŁATWY				Problem 5 klasowy TRUDNY			
x=	3	5	7	10	3	5	7	10
	87,24	89,62	88,35	92	67,39	74,63	80,46	82,84
	85,37	89,27	89,11	90,13	71,8	65,97	81,87	85,57
	87,49	86,13	91,04	91,9	66,84	72	77,87	82,48
	86,28	88,71	89,37	90,13	63,75	75,59	78,63	82,73
	85,47	90,23	90,48	90,78	69,16	77,37	78,78	85,87
	88,56	90,48	92,61	90,13	68,2	75,49	82,99	82,78
	88,3	89,11	91,19	91,54	65,16	76,71	79,19	85,37
	88,91	87,49	56,91	88,66	68,51	71,29	83,54	83,75
	87,54	87,54	89,52	91,7	61,27	76	80,05	82,08
	86,94	85,47	73,57	89,62	61,92	71,59	81,37	81,97
max	88,91	90,48	92,61	92	71,8	77,37	83,54	85,87

5 drzew dzu 3W

x=	3	5	7	10	3	5	7	10
	86,8	90,65	91,35	94,55	69,1	75,8	78,1	83,3
	72,85	92,5	93,1	93,55	68,35	78,85	80,75	84,3
	89,45	92,25	93,8	92,4	66,1	78,05	79,6	85,6
	85,9	92,05	92,5	94,85	67,45	75,75	83,05	83,9
	89,2	92,3	92,05	90,5	67,2	77,45	79,95	83,15
	87,4	89,85	92,95	94,75	65,15	77,45	81,35	85
	90,15	91,05	92,75	87,95	68,3	79,35	82,25	84,8
	88,65	93,4	93,25	93,3	67,5	73,55	76,95	82,5
	87,7	92,5	92,65	91,8	69,9	75,1	72,5	80,05
	86,85	92,45	93,8	93,4	66,9	79,6	79,5	83
max	90,15	93,4	93,8	94,85	69,9	79,6	83,05	85,6

x-10-8-5 dzu 50%50

	Problem 5 klasowy ŁATWY				Problem 5 klasowy TRUDNY			
x=	3	5	7	10	3	5	7	10
	93,84	98,72	99,04	98,88	65,04	85,6	93,52	96,08
	93,84	98,24	99,36	99,2	76,56	90,72	93,52	95,2
	93,12	98,08	99,12	99,36	75,76	91,12	93,52	94,16
	92,56	98,72	99,76	99,36	77,12	20	91,04	94,72
	93,2	99,12	99,52	99,52	76,72	86,48	92,56	96,16
	93,36	98,72	98,56	99,84	77,12	92,24	91,84	94,48
	93,92	98,48	98,24	99,84	78	89,92	94,16	93,36
	94,32	98,08	97,2	99,76	77,44	88,48	94,08	93,92
	92,16	99,12	98,48	99,6	78,64	88,64	93,84	96
	94,56	98,64	98,64	99,6	76,32	89,28	94,32	94,32
max	94,56	99,12	99,76	99,84	78,64	92,24	94,32	96,16

1 drzewo dzu 1W

x=	3	5	7	10	3	5	7	10
	79,7	79,5	80,85	80,85	59,85	70	72,9	79,95
	74,35	78,9	80,95	82,35	61,4	70	81,15	83,15
	75,55	71,5	83,5	84,95	63,25	70,35	71,45	80,95
	73,6	75,6	82,5	77,45	65,85	68,35	83,3	81,7
	81,45	78,3	65,35	80,65	64,2	74,45	82,35	82,95
	73,9	75,5	81,45	80,4	60,6	67,65	79,8	82,05
	69,75	78,5	78	82,25	65,75	66,75	78,4	81,6
	78,4	81,35	80,45	82,9	61,65	64,85	78,6	83,35
	82,3	77,85	74,55	82,8	62,7	69,5	77,7	80,5
	65,6	78,9	78,45	82,7	61,65	68,05	77,4	82,6
max	82,3	81,35	83,5	84,95	65,85	74,45	83,3	83,35

x-10-8-5 3 drzewa dzu 2W

	Problem 5 klasowy ŁATWY				Problem 5 klasowy TRUDNY			
x=	3	5	7	10	3	5	7	10
	89,92	89,62	87,59	90,99	60,71	71,49	79,75	85,27
	88,41	89,16	84,15	91,19	62,94	71,19	81,52	82,68
	88,71	89,77	89,22	90,94	65,47	75,85	83,54	81,16
	87,8	87,75	90,43	93,11	70,23	76,51	83,59	80,51
	87,14	86,89	89,92	92,3	67,34	74,68	79,39	77,52
	90,23	84,51	91,24	92,15	64,86	61,32	78,99	83,75
	85,77	89,22	89,22	92,41	67,59	75,24	79,75	81,32
	88,2	88,91	90,28	87,8	67,65	73,01	80,71	84,05
	87,09	88,66	91,65	90,53	71,65	71,65	81,52	82,48
	84,96	85,67	87,54	92,56	68,46	73,16	51,44	82,43
max	90,23	89,77	91,65	93,11	71,65	76,51	83,59	85,27

x-10-8-5 5 drzew dzu 2W

	Problem 5 klasowy ŁATWY				Problem 5 klasowy TRUDNY			
x=	3	5	7	10	3	5	7	10
	86,1	94,05	92,95	94,1	68	71,25	82	84,8
	89,3	92,35	93	93,05	67,4	76,75	80,25	83,85
	85,65	89,95	92,55	93,25	69,45	74,25	72,7	84,8
	86,05	92,25	93,35	95,25	69,7	72,6	81,1	85,6
	89,05	92,25	92,75	92,05	65,85	77,05	81,6	84,4
	88,65	93,9	92,35	91,3	67,7	74,4	80,05	87,55
	87,9	93,7	91,3	92,6	71,7	78,75	80,85	86,05
	90,1	93,9	93,5	93,55	62,6	75,85	82,15	83,75
	86,05	93,85	91,1	94,15	54,2	74,75	80,35	83,4
	90,05	76,55	93,25	91,8	67,25	75,6	80,25	85,4
max	90,1	94,05	93,5	95,25	71,7	78,75	82,15	87,55

x-10-10-5 dzu 50%50

	Problem 5 klasowy ŁATWY				Problem 5 klasowy TRUDNY			
x=	3	5	7	10	3	5	7	10
	92,72	97,68	99,2	99,52	75,44	91,12	93,12	96,96
	93,92	98,8	99,36	99,28	76,56	90,56	92,8	94
	94,64	97,52	98,8	100	77,44	88,56	95,28	95,12
	94,56	98,96	99,12	99,76	77,12	91,76	92	95,76
	94,48	98,8	98,08	99,12	74,08	91,92	93,04	94,56
	94	98,4	99,6	99,76	75,76	91,84	94,08	95,12
	94,8	97,6	98,96	99,68	77,12	90,72	94,72	95,84
	94,8	98,88	99,36	99,76	78,32	86,96	77,28	79,68
	95,04	98,48	98,64	99,12	79,04	90,64	94,88	95,76
	94	98,64	99,44	99,68	74,32	89,04	93,44	97,36
max	95,04	98,96	99,6	100	79,04	91,92	95,28	97,36

1 drzewo dzu 1W

	Problem 5 klasowy ŁATWY				Problem 5 klasowy TRUDNY			
x=	3	5	7	10	3	5	7	10
	72,25	78,75	73,7	81	65,9	68,25	78,35	79,6
	77,15	77,55	82,25	82,7	63,9	70,15	79,95	81,25
	79,95	77,6	74,65	79,75	61	67,2	76,5	81,15
	82,25	80,5	76,95	79,05	64,1	60,2	84,6	82,5
	83,5	79,85	81,6	75,95	64,15	64,4	74,3	84,9
	75,05	75,85	81,7	80,15	65,55	70,45	39,2	83,35
	78,8	75,85	78,65	83,55	64,3	71,7	81,5	81,3
	81,2	75,05	79,55	82,85	58	67,35	81	86,15
	79,15	77,7	78,45	79,05	64,35	67,3	78,2	79,9
	77,9	75,4	81,7	81,65	66,05	67,55	81,35	83,35
max	83,5	80,5	82,25	83,55	66,05	71,7	84,6	86,15

x-10-10-5 3 drzewa dzu 2W

	Problem 5 klasowy ŁATWY				Problem 5 klasowy TRUDNY			
x=	3	5	7	10	3	5	7	10
	88,05	87,24	89,42	92,96	53,16	72,96	78,63	79,7
	87,49	87,39	91,9	90,03	66,84	76,51	79,75	82,73
	86,33	73,97	92,05	89,47	59,7	71,8	79,19	84,51
	89,11	91,34	90,33	90,68	65,67	73,87	80,86	82,73
	87,24	86,43	91,14	90,48	64,51	75,19	78,94	83,59
	89,87	90,63	91,39	87,54	65,11	75,24	77,22	84,3
	89,06	88,91	92,35	90,03	64,25	69,57	78,48	83,54
	89,47	38,94	88,81	90,38	57,37	69,97	79,7	83,7
	86,58	89,42	88,66	92,81	68,2	70,89	73,97	82,58
	86,33	83,54	91,19	91,54	63,34	75,7	79,34	81,72
max	89,87	91,34	92,35	92,96	68,2	76,51	80,86	84,51

5 drzew dzu 3W

	Problem 5 klasowy ŁATWY				Problem 5 klasowy TRUDNY			
x=	3	5	7	10	3	5	7	10
	87,35	93	94,8	93,25	72,75	78,15	79,25	86,55
	89,9	93,85	91,6	94,5	69,7	79,1	83,15	83,45
	87,05	92,6	91,3	92,8	69,35	73,25	83,3	86,05
	89,5	92,15	91,7	93,55	68,55	75,15	81,35	85,35
	84,75	91,65	93,5	93,65	67,75	78,5	79,7	85,5
	86,85	93	92,7	93,8	66,45	74,75	80,9	85,3
	86,85	91,4	92,35	94,35	67,35	77,4	20	84,15
	89,95	93,95	93,25	93,1	70,55	75,7	80,85	83,15
	86,85	93,65	91,55	92,25	68,15	76,8	84,35	84,35
	90,25	92,35	93,35	94,25	67,05	78,95	81,55	84,3
max	90,25	93,95	94,8	94,5	72,75	79,1	84,35	86,55

13.1 Wyniki badań porównawczych problem 10 klasowy

Porównawcze 10 + 1(20 użyteczny) 11-(17 20 23)-10-10

2 WARSTWY

Sieć x = 23	50%50	1W	2W	3W	N WU = 17	50%50	1W	2W	3W
	95,4	72,5	79,97	84,3		95,32	75,15	79,54	82,03
	95,48	73,63	79,47	82,33		93,88	65,23	78,38	79,6
	95,64	74,68	78,58	81,9		94,24	70,53	77,82	81,25
	96,44	73,6	76,91	83,25		93,56	70,55	80,3	80,5
	95,4	68,2	74,3	82,98		93,64	71,88	77,72	81,95
	96,28	71,38	82,23	81		86,52	69,68	79,29	80,4
	96,28	69,1	71,16	82,83		93,84	70,05	82,73	83,73
	95,76	73,68	77,92	81,13		85,56	69,45	79,47	80,58
	86,96	72,55	79,72	82,75		95,36	68,28	80,56	82,15
	94,76	71,55	76,58	83,7		93,68	71	78,1	82,25
max	96,44	74,68	82,23	84,3	max	95,36	75,15	82,73	83,73
Sieć x = 20	50%50	1W	2W	3W	N WU = 20	50%50	1W	2W	3W
	93,16	70,6	79,75	82,1		95,96	71,1	76,08	82,45
	95,44	72,23	80,51	83,93		93,92	68,28	77,85	81,55
	95,52	72,5	78,35	84,63		94,52	68,68	76,58	75,05
	95,72	71,23	81,14	84,33		94,4	68,63	78,33	82,6
	94,88	75,6	81,7	79,75		94	71,88	77,57	81,3
	96,68	73,93	78,23	85,55		95	73,9	79,42	82,65
	94,92	72,25	79,54	79,6		95,48	72,98	78,1	83,93
	94,88	74,23	81,06	82,6		93,96	71,6	80,61	83,35
	96,64	73,9	78,58	80,93		95,24	73,9	78,25	79,65
	95,92	74,33	80,56	83,3		94,84	70,45	76,71	83,53
max	96,68	75,6	81,7	85,55	max	95,96	73,9	80,61	83,93
Sieć x = 17	50%50	1W	2W	3W	N WU = 23	50%50	1W	2W	3W
	95,72	70,65	80,05	82,23		95,52	72,93	78,25	81,98
	94,64	72,7	80,03	83,58		94,96	71,2	79,42	80,9
	95,36	70,48	80,33	82,73		93,48	68,93	77,32	84,93
	94,76	75,1	78	81,25		96,56	74,25	79,27	83,38
	95,44	69,48	79,22	82,98		94,8	72,3	80,23	82,93
	95,84	72,73	81,8	82,68		94,6	70,95	76,1	82,5
	94,8	71,15	76,25	84,65		95,44	68,45	78,96	83,38
	95,52	75,35	77,54	84,6		96,92	72,38	76,81	82,75
	93,6	76,98	74,46	83,9		86,28	66,23	82	82,08
	94,36	73,78	76,08	83,83		94,52	68,28	76,86	82,65
max	95,84	76,98	81,8	84,65	max	96,92	74,25	82	84,93

1 WARSTWA dziesięcioklasowy 11-(17 20 23)-10

N WU = 17	50%50	1W	2W	3W
	95,32	75,15	79,54	82,03
	93,88	65,23	78,38	79,6
	94,24	70,53	77,82	81,25
	93,56	70,55	80,3	80,5
	93,64	71,88	77,72	81,95
	86,52	69,68	79,29	80,4
	93,84	70,05	82,73	83,73
	85,56	69,45	79,47	80,58
	95,36	68,28	80,56	82,15
	93,68	71	78,1	82,25
max	95,36	75,15	82,73	83,73
N WU = 20	50%50	1W	2W	3W
	95,96	71,1	76,08	82,45
	93,92	68,28	77,85	81,55
	94,52	68,68	76,58	75,05
	94,4	68,63	78,33	82,6
	94	71,88	77,57	81,3
	95	73,9	79,42	82,65
	95,48	72,98	78,1	83,93
	93,96	71,6	80,61	83,35
	95,24	73,9	78,25	79,65
	94,84	70,45	76,71	83,53
max	95,96	73,9	80,61	83,93
N WU = 23	50%50	1W	2W	3W
	95,52	72,93	78,25	81,98
	94,96	71,2	79,42	80,9
	93,48	68,93	77,32	84,93
	96,56	74,25	79,27	83,38
	94,8	72,3	80,23	82,93
	94,6	70,95	76,1	82,5
	95,44	68,45	78,96	83,38
	96,92	72,38	76,81	82,75
	86,28	66,23	82	82,08
	94,52	68,28	76,86	82,65
max	96,92	74,25	82	84,93

13.2 Wyniki badań porównawczych problemu 5 klasowe

5 klas 1 WARSTWOWA 11-(8)-5 testy dla (6 do 11)

	Problem 5 klasowy ŁATWY				Problem 5 klasowy TRUDNY			
	50%50	1W	2W	3W	50%50	1W	2W	3W
	98,72	76,4	92,76	94,3	94,8	81,9	83,44	83,9
	99,92	80,65	91,44	93,05	94,32	84,95	82,38	84,45
	99,6	81,3	93,32	97,3	95,36	80	76,51	80,5
	99,76	76,3	89,97	94,8	95,76	80	83,9	83,25
	99,6	80,95	91,34	92,95	95,36	81,2	81,52	85,25
	99,84	81,75	93,37	94,2	96,96	78,9	84	83,3
	99,76	77,9	88,51	93,65	92,16	80,7	82,33	82,55
	99,44	75,8	88,76	93,7	93,68	74,95	85,72	85,1
	99,04	81,3	89,16	93,55	94,4	75,85	81,52	84,25
	100	81,05	92,41	95,85	94,64	78,55	83,29	83,9
	99,68	83,35	92,25	96,75	74,8	78,95	84,3	84,15
	99,92	81,75	94,08	95,55	96,56	77,95	82,48	83,3
	99,68	81,55	88,51	91,6	95,28	83,05	81,06	81,35
	99,84	78,35	86,63	93,55	96,08	76,05	79,9	83,7
	99,76	79,1	93,97	94,9	94	81,75	79,75	84,15
	99,44	81,3	90,33	93,45	93,52	79,35	82,28	82,7
	99,76	76,95	93,01	95,45	40,16	80,85	84,56	83,35
	100	77,6	92,41	94,15	95,04	82,25	83,24	83,95
	100	81,5	90,38	93,4	94,8	83,1	78,68	82,65
	99,68	77,8	92,61	91,45	93,84	77,2	83,04	85,55
max	100	83,35	94,08	97,3	96,96	84,95	85,72	85,55

5 klas 2 WARSTWA UKRYTA 11-(9)-10-5 testy dla (9 do 14)

	Problem 5 klasowy ŁATWY				Problem 5 klasowy TRUDNY			
	50%50	1W	2W	3W	50%50	1W	2W	3W
	99,6	81,9	90,48	95,25	96,64	82,2	81,16	81,6
	99,68	78,35	92,2	92,2	96,32	80,55	83,39	85,3
	99,92	79,4	90,89	91,6	97,28	82,45	83,54	86,55
	99,44	81,6	92,61	94,95	96,64	81,85	79,85	84,7
	99,76	83,75	89,92	95,25	77,04	81,55	85,57	84,85
	99,6	84,15	90,89	95,65	94,88	79,5	81,27	83,25
	98,88	79,85	92,71	95,7	96,88	82,35	83,9	83,4
	99,92	64,2	91,29	94,85	96,24	83,35	81,77	83,95
	100	79,8	91,44	93,15	94,64	81,05	77,97	84,85
	99,44	81,4	92,1	95,25	96,08	78,25	85,16	84,2
	99,84	77,2	89,92	93,95	94,48	81,25	84,81	84,75
	99,76	81,1	89,77	93,25	96	82,35	70,94	83,5
	99,92	79,85	92,91	94,65	94,24	78,35	82,58	85,25
	100	82,3	89,77	95,25	95,44	82,45	82,43	84,75
	99,92	77,3	82,28	95,75	94,88	82,05	82,99	82,5
	99,92	76,8	89,77	94,55	96,72	80,1	81,01	86,55
	90,72	83,25	90,63	76,45	95,52	82,75	83,7	85,5
	99,68	79,9	91,59	89,65	75,6	81,1	83,95	84,1
	100	80,4	91,54	97,55	93,36	78,4	83,95	83,95
	99,92	34,55	88,91	94,55	95,12	82,45	82,48	85,2
max	100	84,15	92,91	97,55	97,28	83,35	85,57	86,55

5 klas 2 WARSTWOWA 11-(11)-10-5 testy dla (9 do 14)

	Problem 5 klasowy ŁATWY				Problem 5 klasowy TRUDNY			
	50%50	1W	2W	3W	50%50	1W	2W	3W
	99,68	83,8	87,9	94,25	96,56	83,45	85,27	83,6
	99,92	81,95	91,49	96,55	96,08	79,1	82,73	84,05
	99,52	82,85	92,86	93,8	96,4	71,05	84,66	85,35
	100	80,45	92,3	91,55	95,04	83	82,18	85,7
	100	82	90,84	95,5	96,16	79,05	67,9	83,8
	99,92	79,15	92,81	95,4	96,48	79,3	84,35	86,6
	99,44	77,95	89,47	94,35	96,24	83,25	82,63	85,05
	99,36	82,5	90,99	95,25	95,12	81,45	83,49	84,65
	99,92	78,1	91,75	96,15	93,76	81,15	85,57	85,65
	100	78,25	93,62	94,25	96,4	83,05	84,56	83,45
	99,6	82,95	93,82	57,65	97,36	80,35	85,42	70,75
	99,76	81,6	90,68	96,25	93,12	81,35	83,14	84,4
	100	81,05	91,8	93,6	96	81,35	83,39	71,85
	99,84	78,9	91,65	97,3	95,76	81,45	85,82	82,8
	99,44	76,7	91,54	92,85	94,64	83,95	82,94	85,95
	100	76,95	90,68	92,7	94	78,4	84,25	85,95
	100	81,85	88,86	96	94,8	84	86,03	83,75
	99,76	79,2	91,24	93,75	95,44	81,9	82,99	53,35
	100	78,15	89,72	40,3	94,48	82,7	80,2	86
	100	83,15	88,86	92,9	97,44	83,25	83,49	86,05
max	100	83,8	93,82	97,3	97,44	84	86,03	86,6