

# **NERONOWE**

## **SZTUCZNE SYSTEMY SKOJARZENIOWE I ICH MOŻLIWOŚCI OBLICZENIOWE**



***Adrian Horzyk***  
***horzyk@agh.edu.pl***



**AGH**

***AGH Akademia Górniczo-Hutnicza***  
***Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i***  
***Inżynierii Biomedycznej***  
***Katedra Automatyki i Inżynierii Biomedycznej***  
***Laboratorium Biocybernetyki***  
***30-059 Kraków, al. Mickiewicza 30, paw. C3/206***

# MÓZG I JEGO MOŻLIWOŚCI

**Mózg bardzo szybko** przetwarza dane napływające z receptorów zmysłowych umożliwiając **błyskawiczne reakcje** na zagrożenia oraz efektywną komunikację.

Mózg nie posiada centralnego procesora przetwarzającego instrukcje programu

Mózg nie posiada niezawodnej pamięci, w której mógłby trwale przechowywać i podmieniać dowolne dane lub programy

Mózg nie ma wewnętrznego informatyka, który mógłby tworzyć dla niego programy

Mózg nie posiada struktur tabelarycznych do przechowywania danych

U podstaw **procesów myślowych** umożliwiających nam uczenie się, nabywanie wiedzy i doświadczania, rozważanie, uogólnianie i kreatywność leżą **aktywne skojarzenia**.

# MÓZG – część UKŁADU NERWOWEGO

**Układ nerwowy** zbudowany jest z **neuronów**, komórek glejowych, **receptorów** (np. zmysłowych), **efektorów** kontrolujących mięśnie i wydzielanie hormonów oraz **płynu mózgowo-rdzeniowego**, który umożliwia plastyczne formowanie się struktur mózgowych i wymianę danych między neuronami.

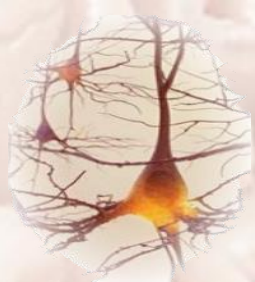
Mózg jest **plastyczny** i stopniowo zmienia strukturę połączeń dzięki mechanizmom uruchamianym w neuronach

**Połączenia** między neuronami oraz **synapsy** decydują o tym, co neurony reprezentują i na jakie sygnały reagują

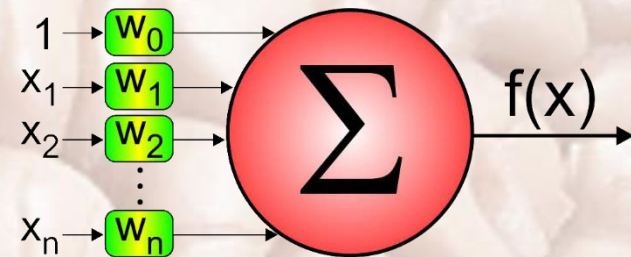
**Receptory** dostarczają ważnych bodźców, których często powtarzane subkombinacje są reprezentowane przez neurony

**Neurony** mogą reprezentować równocześnie różne kombinacje sygnałów wejściowych reagując na nie aktywacją





# NEURON i jego funkcje w układzie nerwowym



**Neuron** nie jest tylko sumatorem ważonych sygnałów wejściowych wyznaczającym swoje wyjście na podstawie pewnej funkcji aktywacji, jak często się go modeluje dla potrzeb sztucznych sieci neuronowych.

**Neuron** posiada próg aktywacji, dzięki któremu może różnicować swoje reakcje na dochodzące do niego w czasie różne kombinacje pobudzających i hamujących sygnałów wejściowych.

**Kombinacje**, które pobudzają go tak, iż przekracza próg aktywacji, powodują jego aktywację, umożliwiając mu przekazać informację o rozpoznaniu jednej z reprezentowanych przez niego kombinacji do połączonych z nim neuronów lub efektorów.

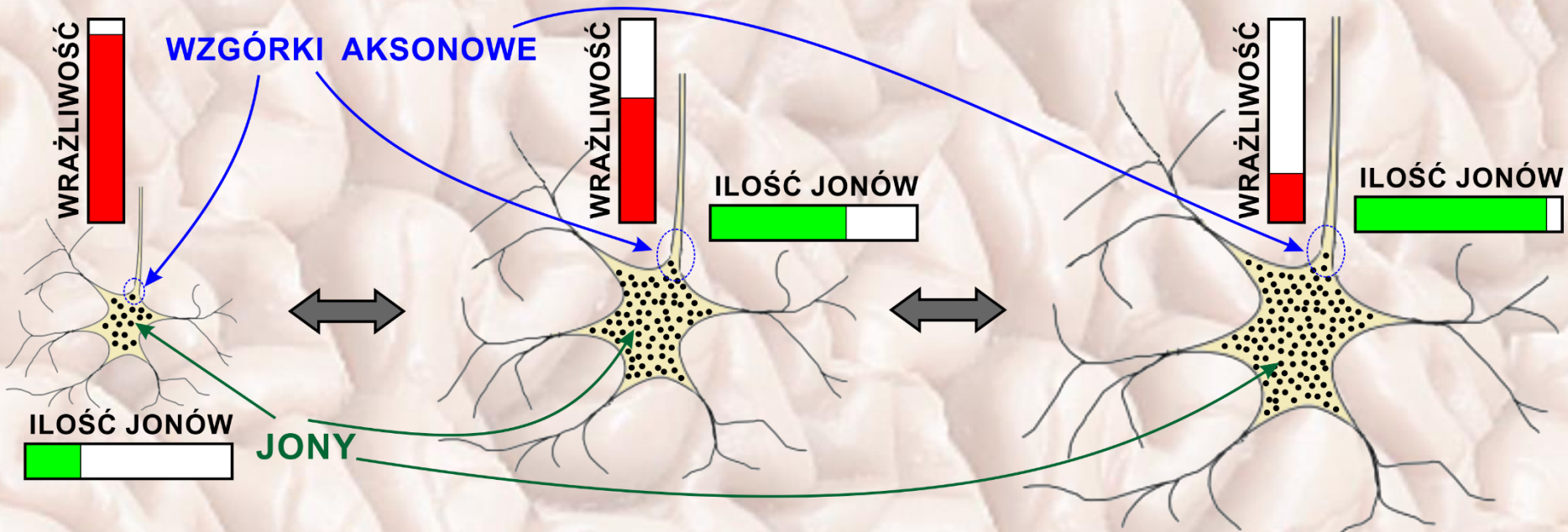
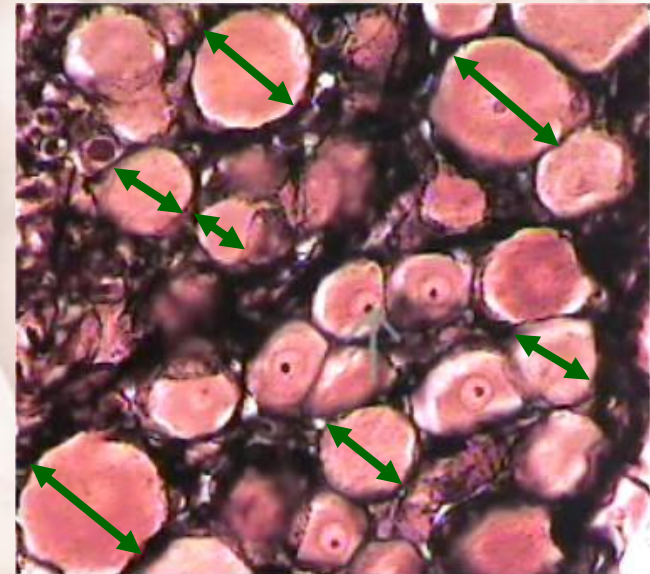
**Neuron** jest w stanie zmieniać zbiór reprezentowanych kombinacji.

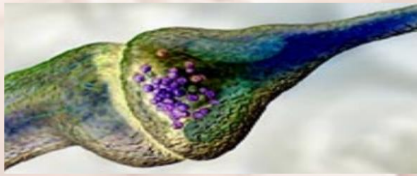
**Neuron** działa w czasie oraz podlega procesom refrakcji i relaksacji, dzięki którym jego wcześniejsze pobudzenia lub hamowania utrzymują wpływ na jego dalsze potencjalne aktywacje tylko przez pewien czas.

# WIELKOŚĆ I PLASTYCZNOŚĆ NEURONÓW

Neurony biologiczne różnią się co do wielkości, a więc mają również różną pojemność, w której mieści się różna ilość jonów, których przepompowanie wpływa na potencjał błony i decyduje o osiągnięciu progu aktywacji na skutek oddziaływań synaptycznych.

Wielkość neuronów zatem przekłada się na wrażliwość neuronu na pobudzenia wejściowe oraz decyduje o tym, które kombinacje wejściowe będą reprezentowane przez poszczególne neurony.

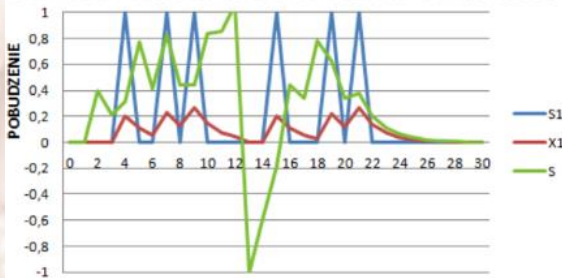




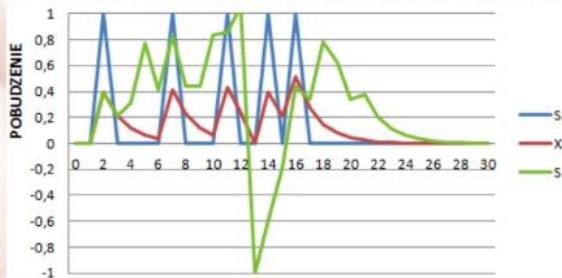
# POŁĄCZENIA SYNAPTYCZNE i STAN POBUDZENIA NEURONU

W połączeniach synaptycznych zachodzą skomplikowane procesy chemiczne, które mogą tymczasowo lub bardziej trwale **zmienić parametry przepuszczalności neurotransmiterów** przez element postsynaptyczny i **szybkość przepompowywania jonów** przez błonę neuronu.

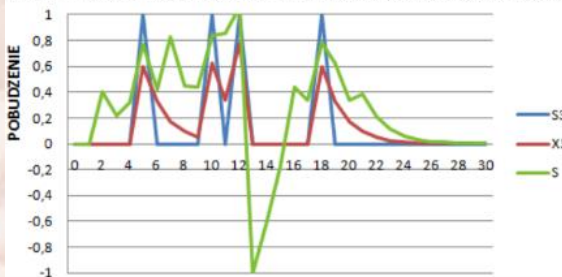
WPŁYW 1. SYNAPSY NA STAN NEURONU



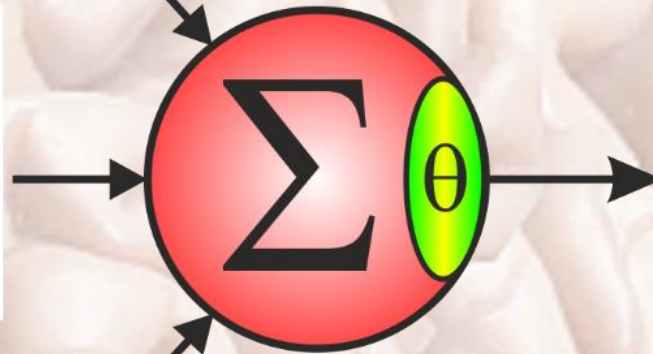
WPŁYW 2. SYNAPSY NA STAN NEURONU



WPŁYW 3. SYNAPSY NA STAN NEURONU



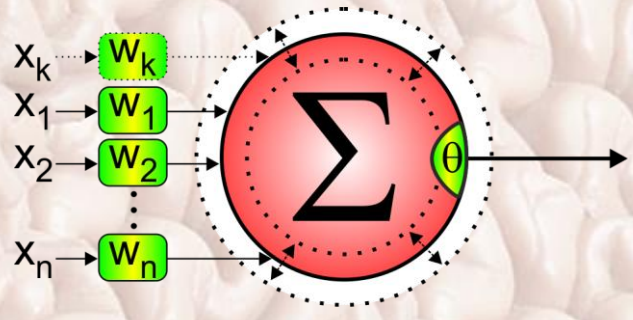
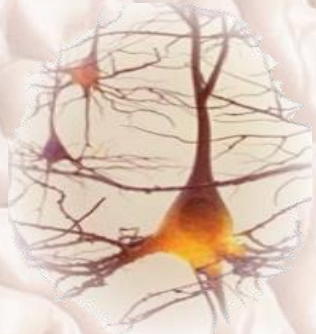
**RELAKSACJA** – powrót potencjału błonowego neuronu do stanu równowagi po jego pobudzeniu, lecz nie osiągnięciu aktywacji. W trakcie okresu relaksacji neuron jest **bardziej wrażliwy** na kolejne pobudzenia, aczkolwiek stopniowo ta wrażliwość wygasa. **AKTYWACJA**



STAN POBUDZENIA NEURONU

**REFRAKCJA** – powrót potencjału błonowego neuronu po jego aktywacji do stanu równowagi. W trakcie okresu refrakcji neuron jest **niezdolny**, a następnie **mniej wrażliwy** na kolejne pobudzenia, co może stworzyć szansę na zmianę kolejności aktywacji innych neuronów w sieci.

# ASOCJACYJNY MODEL NEURONÓW - AS-NEURON



$$w_{SN, \widehat{SN}}^{ACON} = \frac{2 \cdot \delta_{SN, \widehat{SN}}^{act}}{\eta_{SN}^{act} + \delta_{SN, \widehat{SN}}^{act}}$$
$$\tau = t_{postsyn} - t_{presyn}$$
$$\delta_{SN, \widehat{SN}}^{act} = \sum_{\{\sim ACON_{\tau}: SN \sim \dots \sim \widehat{SN} \in AAT\}} \frac{1}{\tau}$$

$\eta_{SN}^{act}$  – ilość aktywacji neuronu  $SN$  dla określonego zbioru sekwencji uczących  $S$

$\delta_{SN, \widehat{SN}}^{act}$  – współczynnik skuteczności połączenia synaptycznego  $|SN \sim \widehat{SN}$ , określony poprzez sumę ważoną ilości skutecznych aktywacji neuronu postsynaptycznego  $\widehat{SN}$  przez neuron presynaptyczny  $SN$ , gdzie waga określona jest poprzez upływ czasu pomiędzy aktywacją neuronu presynaptycznego i postsynaptycznego.

- **Pracuje w czasie** - niezbędnym do modelowania kontekstu i asocjacyjnych procesów następstwa w sieci połączonych as-neuronów.
- **Uwzględnia relaksację i refrakcję** umożliwiając powstanie tymczasowego kontekstu dla przyszłych pobudzeń, a więc w efekcie dla kolejnych asocjacji i aktywacji neuronów.
- **Optymalizuje aktywność** reprezentując tylko pewien podzbiór najczęstszych i równocześnie najmocniej sumarycznie pobudzających kombinacji sygnałów wejściowych.
- **Warunkowo wywołuje zmiany plastyczne** swojej wielkości (**dostosowując swoją wrażliwość i ograniczając ilość reprezentowanych kombinacji**) oraz parametrów transmisji synaptycznej (**umożliwiając specjalizację w reprezentacji**).
- **Może reprezentować** wiele podobnych, jak również całkowicie odmiennych kombinacji danych wejściowych (**umożliwiając podobne reakcje na różne kombinacje**, w tym też ślady pamięciowe, oraz **uogólnianie**).





# KOOPERATYWNA RYWALIZACJA

MOŻNA RYWALIZOWAĆ NA DWA SPOSOBY:

- Kooperując i dążąc do zaspokojenia potrzeb wszystkich (allcentryzm)
- Konkurując o zasoby i zwalczając się, dążąc do zaspokojenia tylko własnych (egocentryzm)

Neurony wybrały  
**RYWALIZACJĘ**  
**KOOPERATYWNA**  
dzieląc pomiędzy  
siebie reprezentację  
przestrzeni danych.

samo•sedno

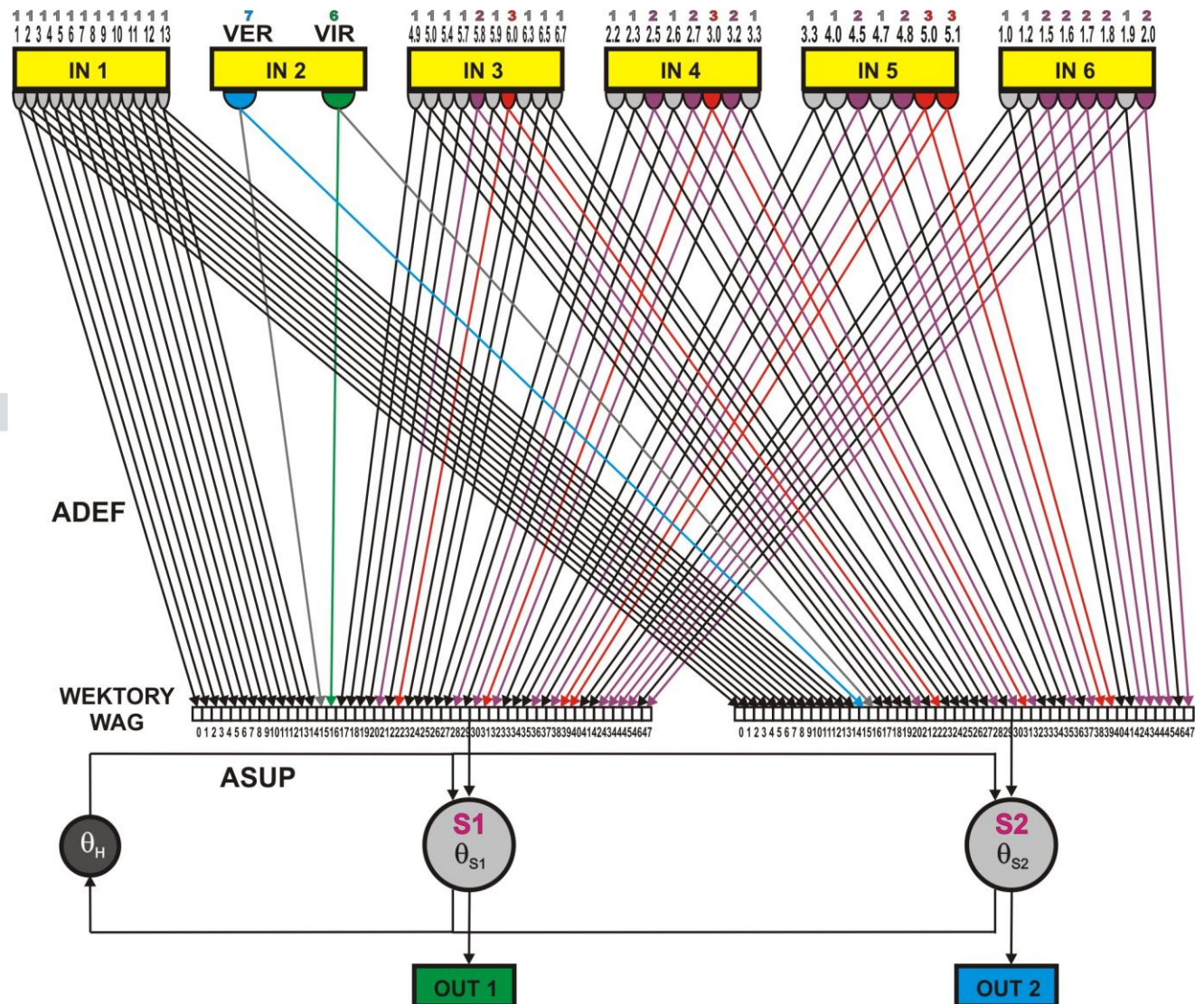
ADRIAN HORZYK

**NEGOCJACJE**  
SPRAWDZONE STRATEGIE

Zostań  
mistrzem  
negocjacji!



Osiągnij sukces negocjacyjny  
w życiu zawodowym i osobistym!



# PORÓWNANIE SZYBKOŚCI I EFEKTYWNOŚCI

Neurony w porównaniu do współczesnych procesorów są **bardzo wolne**, a pomimo tego są w stanie **bardzo szybko** spowodować odpowiednie reakcje systemu nerwowego w sytuacjach, w których współczesne komputery muszą wykonywać wiele skomplikowanych i bardzo czasochłonnych obliczeń.



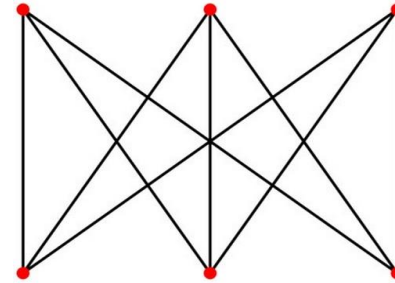
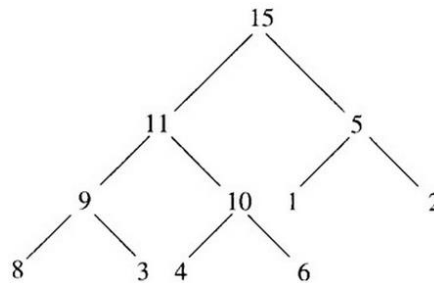
Systemy neuronowe wykorzystują jednak **wiedzę** zapisaną w strukturze i parametrach połączeń neuronów reprezentujących **znane kombinacje** danych wejściowych, które natychmiast rozpoznają i uruchamiają podobne **sekwencje skojarzeń**, jakie miały miejsce w przeszłości. Dzięki temu neurony **nie muszą** wykonywać skomplikowanych operacji matematycznych, lecz muszą utrwalić relacje następstwa, jakie występowały pomiędzy tymi kombinacjami.

# STRUKTURY DANYCH i EFEKTYWNOŚĆ

Klasyczny model obliczeniowy oparty na **maszynie Turinga** rozróżnia **dane** oraz przetwarzające je **algorytmy**. Dane mogą być ze sobą w różny sposób powiązane, tworząc odpowiednie **struktury danych**. Zarówno dane, jak i algorytmy są przechowywane w tej samej pamięci komputerowej.

Stosowanie odpowiednich **struktur danych** ma duże znaczenie w informatyce, gdyż wpływają one na **efektywność przetwarzania** przechowywanych danych.

lp.	klasa	długość liścia	szerokość liścia	długość płatka	szerokość płatka
1	Iris Setosa	5,1	3,5	1,4	0,2
2	Iris Setosa	4,9	3,0	1,4	0,2
3	Iris Setosa	4,7	3,2	1,3	0,2
4	Iris Setosa	4,6	3,1	1,5	0,2
5	Iris Setosa	5,0	3,6	1,4	0,2
6	Iris Setosa	5,4	3,9	1,7	0,4
7	Iris Setosa	4,6	3,4	1,4	0,3
8	Iris Setosa	5,0	3,4	1,5	0,2
9	Iris Setosa	4,4	2,9	1,4	0,2



Wszystkie **struktury danych** wymagają odpowiednich algorytmów, w celu dodawania, usuwania, przeglądania, sortowania i wyszukiwania danych.

**Algorytmy** te wymagają stosowania **pętli obliczeniowych** i **instrukcji warunkowych**.

Różnią się **złożonością obliczeniową** w zależności od sposobu uporządkowania i powiązania ze sobą danych oraz rodzaju pamięci, w której są przechowywane.

# PRZECHOWYWANIE DANYCH W MÓZGU



Mimo dużej możliwości mózgu, nie jest on przeznaczony ani przystosowany do **przechowywania dużych ilości surowych danych**, lecz do reprezentacji ich często powtarzających się **kombinacji**, które definiują pewne **klasy obiektów** – rozpoznawalnych i istotnych z punktu widzenia potrzeb danego osobnika.

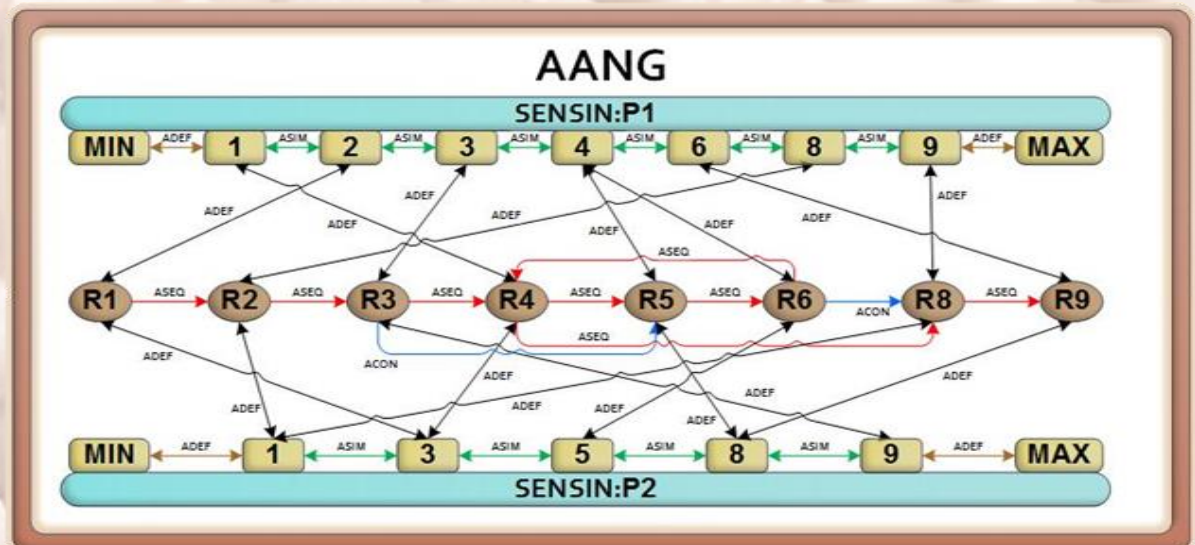
**Neurony** umożliwiają nie tylko przechowywanie wielu reprezentacji kombinacji danych wejściowych, lecz równocześnie są odpowiedzialne za oddziaływanie na inne neurony reprezentujące inne kombinacje, które w pewnych sytuacjach mogą uaktywnić. **Przechowywanie powiązane jest z przetwarzaniem danych:**

PASYWNA STRUKTURA DANYCH  
WYMAGAJĄCA ALGORYTMÓW

TABLICA		
	P1	P2
R1	2	3
R2	8	1
R3	3	9
R4	1	3
R5	4	8
R6	4	5
R7	1	3
R8	9	1
R9	6	8



AKTYWNA STRUKTURA REPREZENTACJI I ODDZIAŁYWAŃ DANYCH





# PAMIĘCI KOMPUTEROWE



**Pamięć komputerowa** jest urządzeniem cyfrowym służącym do przechowywania danych zakodowanych w postaci bitowej (0 lub 1) w **komórkach pamięci**, które przechowują grupę kilku bitów (najczęściej 8 – czyli 1 bajt).

**Pamięć komputerowa** jest zwykle zorganizowana w postaci **jednowymiarowej tablicy lub tablic bajtów** umożliwiając **swobodny** lub **sekwencyjny dostęp** do poszczególnych **danych** przechowywanych w kolejno ułożonych **komórkach pamięci**:

Bank 3		Bank 2		Bank 1		Bank 0	
Adres	Zawartość	Adres	Zawartość	Adres	Zawartość	Adres	Zawartość
3	00000000	2	11111111	1	11110000	0	00001111
7	11001100	6	10101010	5	01010101	4	11000011
11	11100111	10	10000001	9	01111110	8	11010011
15	11010110	14	00101100	13	00111010	12	11010100
19	11010010	18	00010100	17	00100100	16	11011110
		...		...		...	

**Dostęp swobodny** charakteryzuje się możliwością dostępu do dowolnej komórki pamięci w dowolnej kolejności na podstawie adresu, niezależnie od wcześniej wykonywanych operacji.

**Dane** w postaci bitowej mogą zostać **zapisane** w komórce pamięci lub z niej **odczytane**.

**Dane** przechowywane w jednej komórce pamięci **nie mają wpływu** na dane przechowywane w innych komórkach pamięci. **Operacje odczytu i zapisu danych** dotyczące określonej komórki pamięci **nie mają wpływu** na dane przechowywane w innych komórkach pamięci.

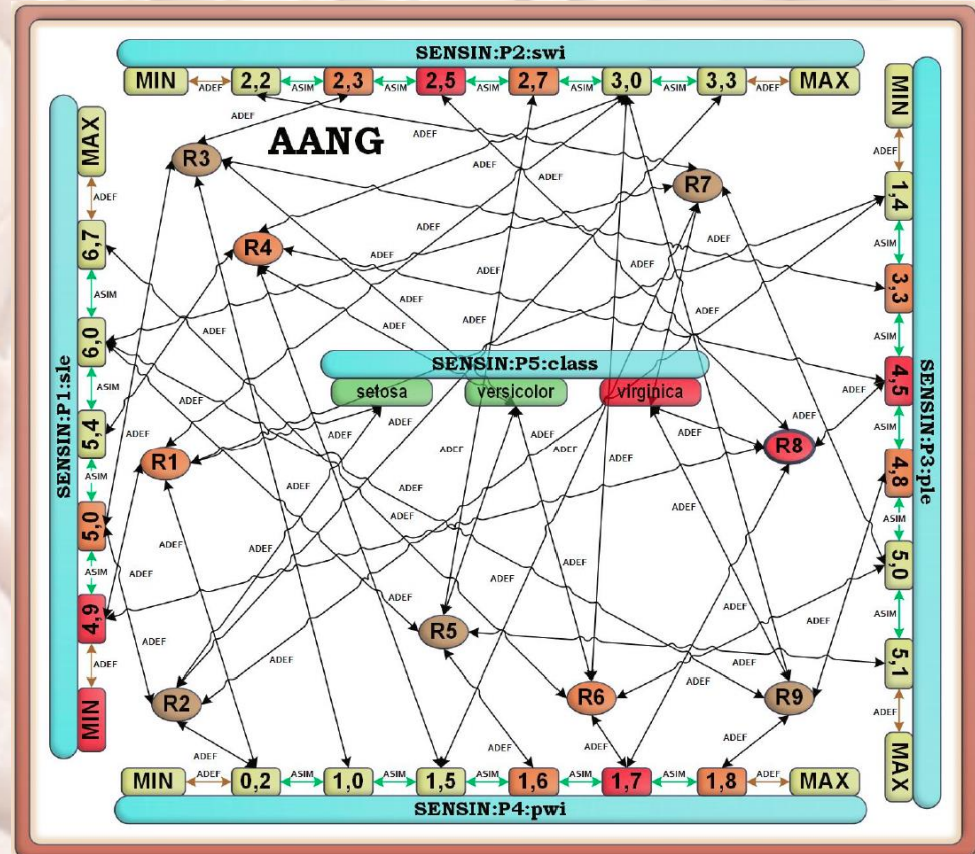


# STRUKTURY NEURONOWE

**Struktury neuronowe** aktywnie wiążą ze sobą przechowywaną zawartość ze skojarzeniami, które mogą zostać wywołane w przyszłości, a więc operacje aktualizujące reprezentowane kombinacje przez neurony (**odpowiednik zapisu**) oraz operacje prowadzące do ich aktywacji (**odpowiednik odczytu**) powodują automatycznie zmianę sposobu przetwarzania danych w przyszłości przez te i inne powiązane z nimi neurony (**odpowiednik zmiany algorytmu/programu**).

**Dane oddziałujące na neurony automatycznie stopniowo zmieniają** sposób ich przetwarzania przez neurony i całą sieć neuronów, a więc przeprogramowują sieć neuronową.

**Sieci neuronowe** zbudowane z tak adaptowalnych neuronów będą nazywane **NEURONOWYMI SYSTEMAMI SKOJARZENIOWYMI** zdolnymi reprezentować i konsolidować wiele kombinacji danych, kojarzyć je ze sobą oraz je wywoływać (aktywować).



# TRANSFORMACJA DANYCH

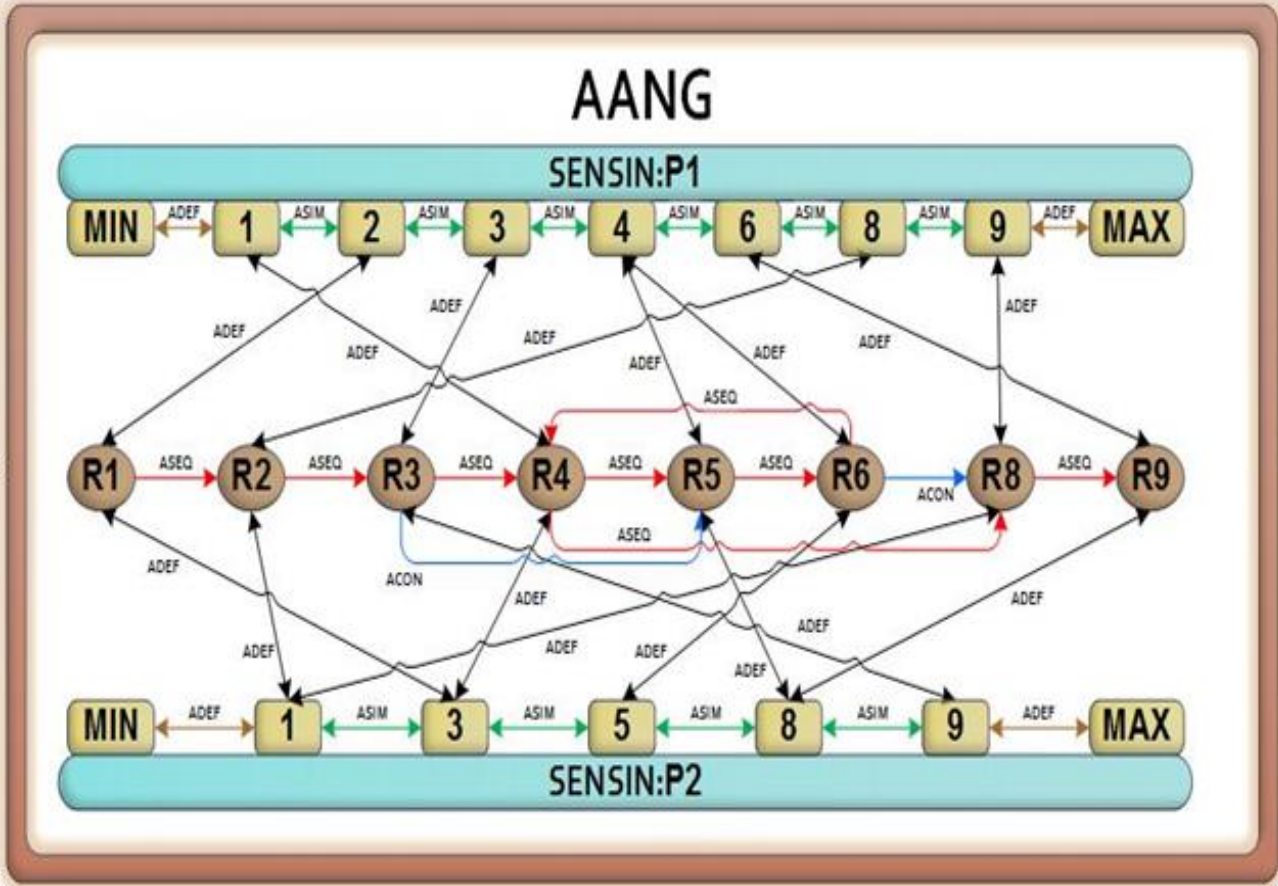


Transformację danych z klasycznych tabel (np. bazodanowych) na asocjacyjną postać neuronową można przeprowadzić kolejno odczytując i transformując rekordy danych (krotki) definiujące pewne obiekty na kombinacje pobudzeń sensorycznych neuronów, które utrwalają ich nieredundantne reprezentacje w systemie skojarzeniowym.

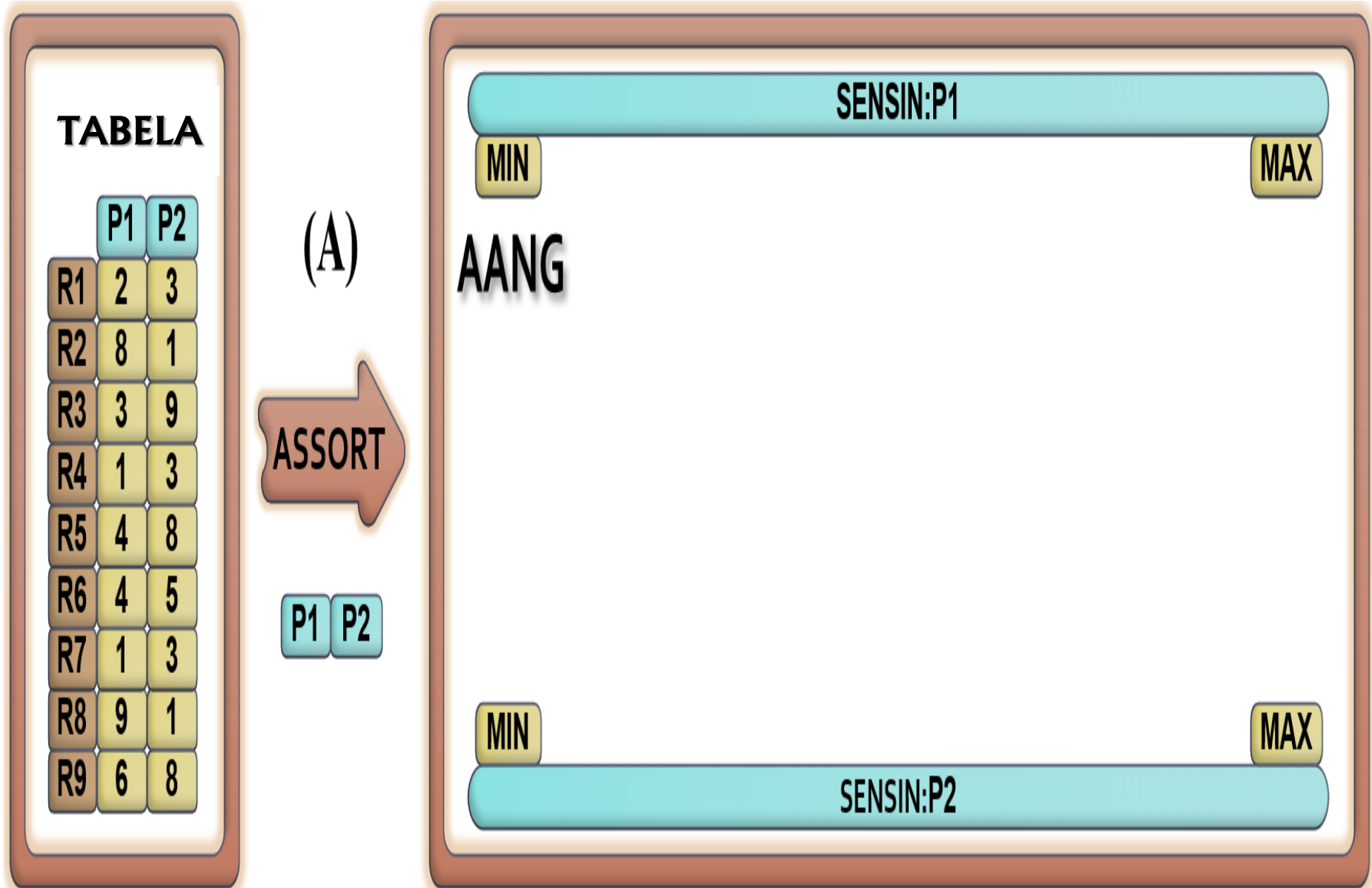
PASYWNA STRUKTURA DANYCH → AKTYWNA STRUKTURA REPREZENTACJI I ODDZIAŁYWAŃ DANYCH

**TABELA**

	P1	P2
R1	2	3
R2	8	1
R3	3	9
R4	1	3
R5	4	8
R6	4	5
R7	1	3
R8	9	1
R9	6	8



# Transformacja tabeli na neuronową strukturę asocjacyjną





# Transformacja tabeli na neuronową strukturę asocjacyjną



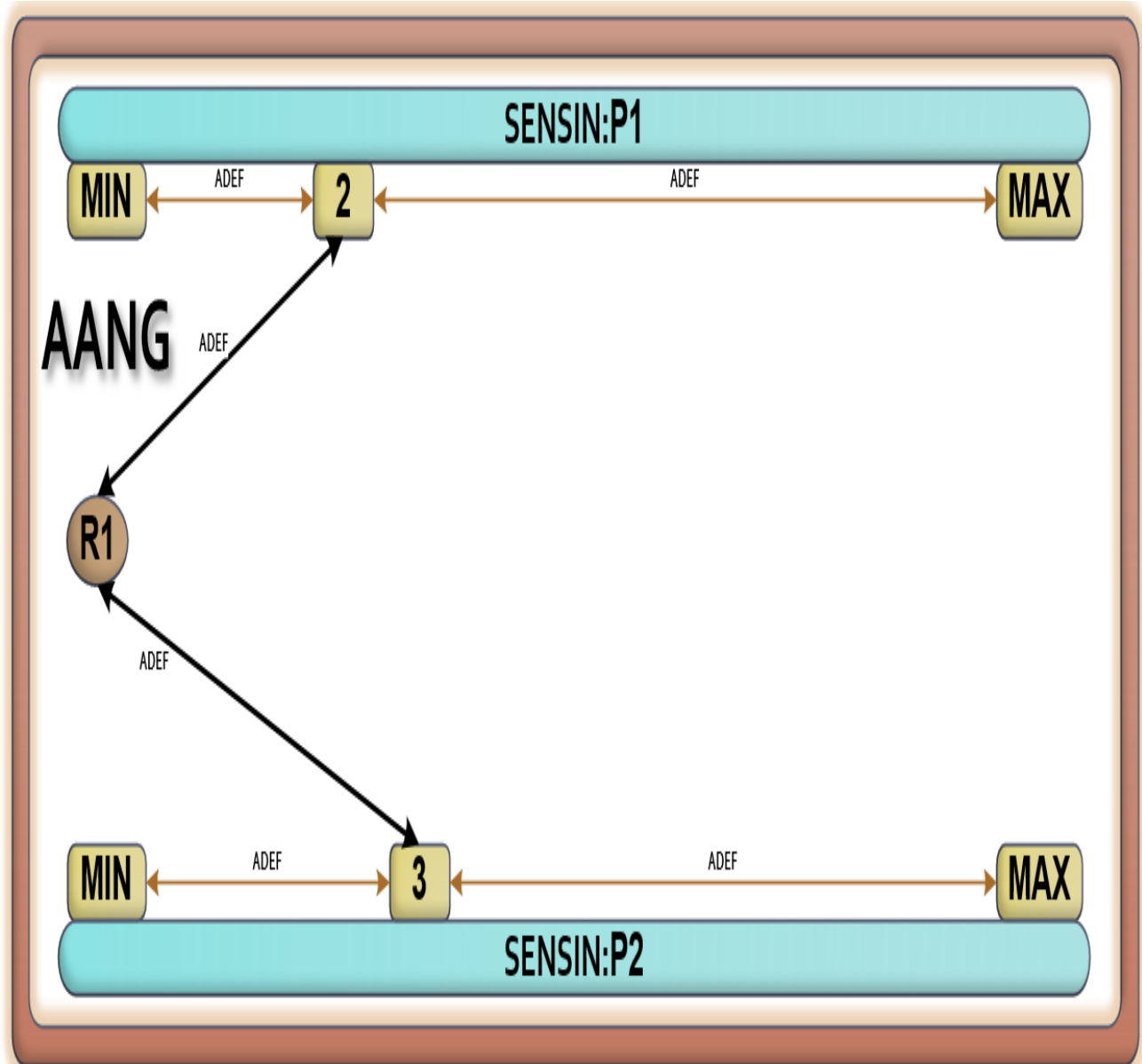
**TABELA**

	P1	P2
R1	2	3
R2	8	1
R3	3	9
R4	1	3
R5	4	8
R6	4	5
R7	1	3
R8	9	1
R9	6	8

(B)



R1	2	3
----	---	---



# Transformacja tabeli na neuronową strukturę asocjacyjną



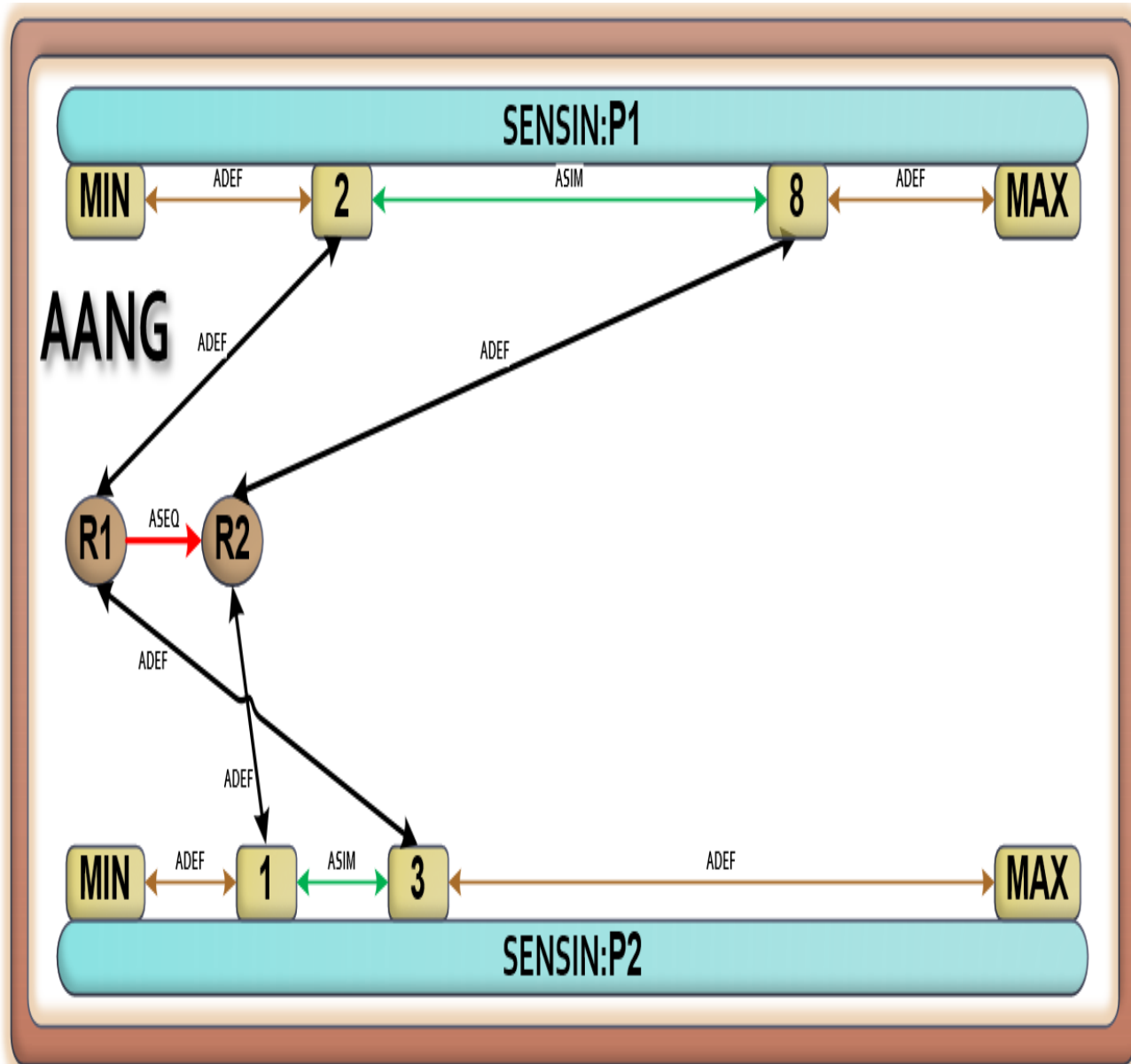
## TABELA

	P1	P2
R1	2	3
R2	8	1
R3	3	9
R4	1	3
R5	4	8
R6	4	5
R7	1	3
R8	9	1
R9	6	8

(C)



R2	8	1
----	---	---



# Transformacja tabeli na neuronową strukturę asocjacyjną



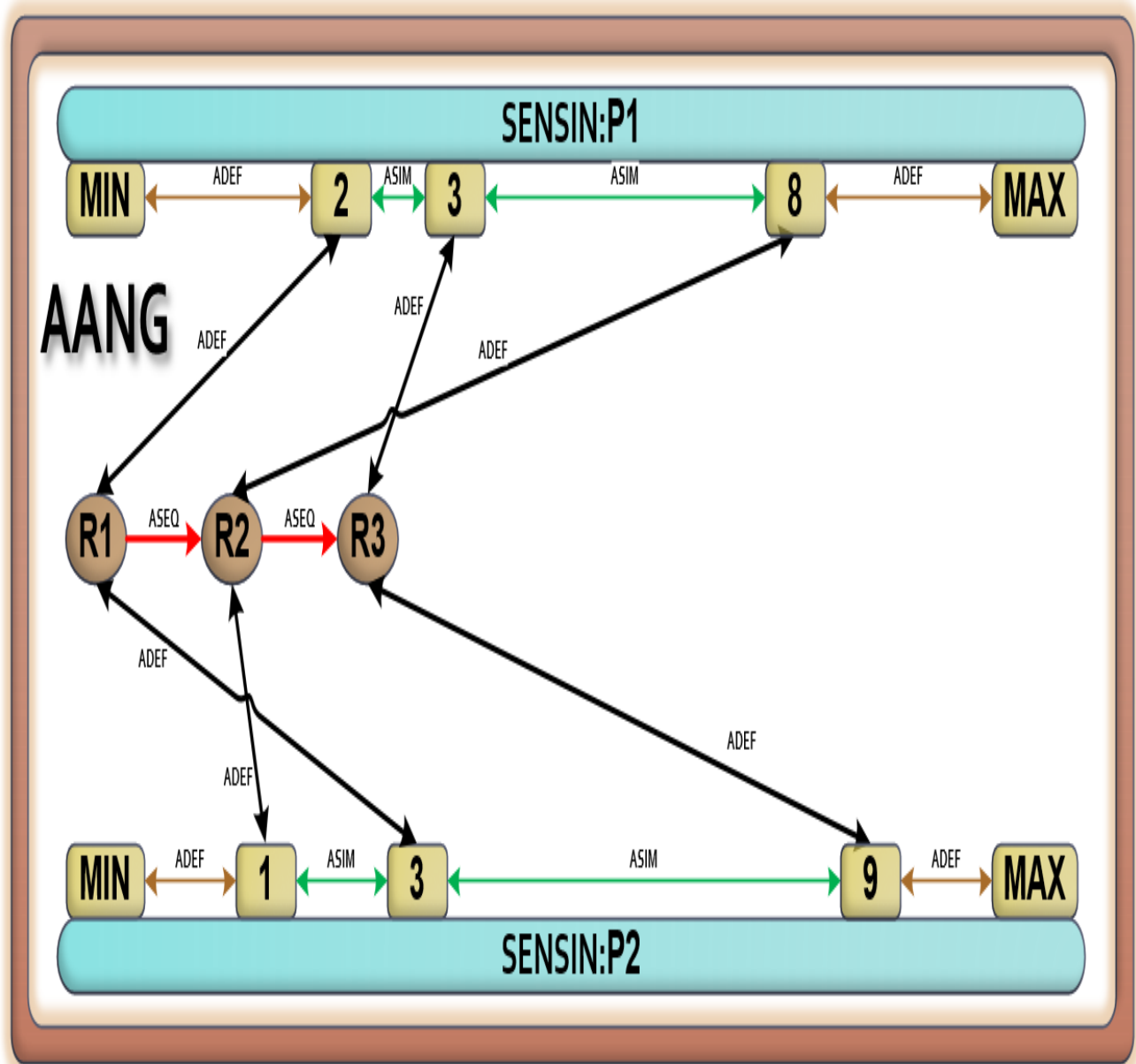
## TABELA

	P1	P2
R1	2	3
R2	8	1
R3	3	9
R4	1	3
R5	4	8
R6	4	5
R7	1	3
R8	9	1
R9	6	8

(D)



R3	3	9
----	---	---



# Transformacja tabeli na neuronową strukturę asocjacyjną



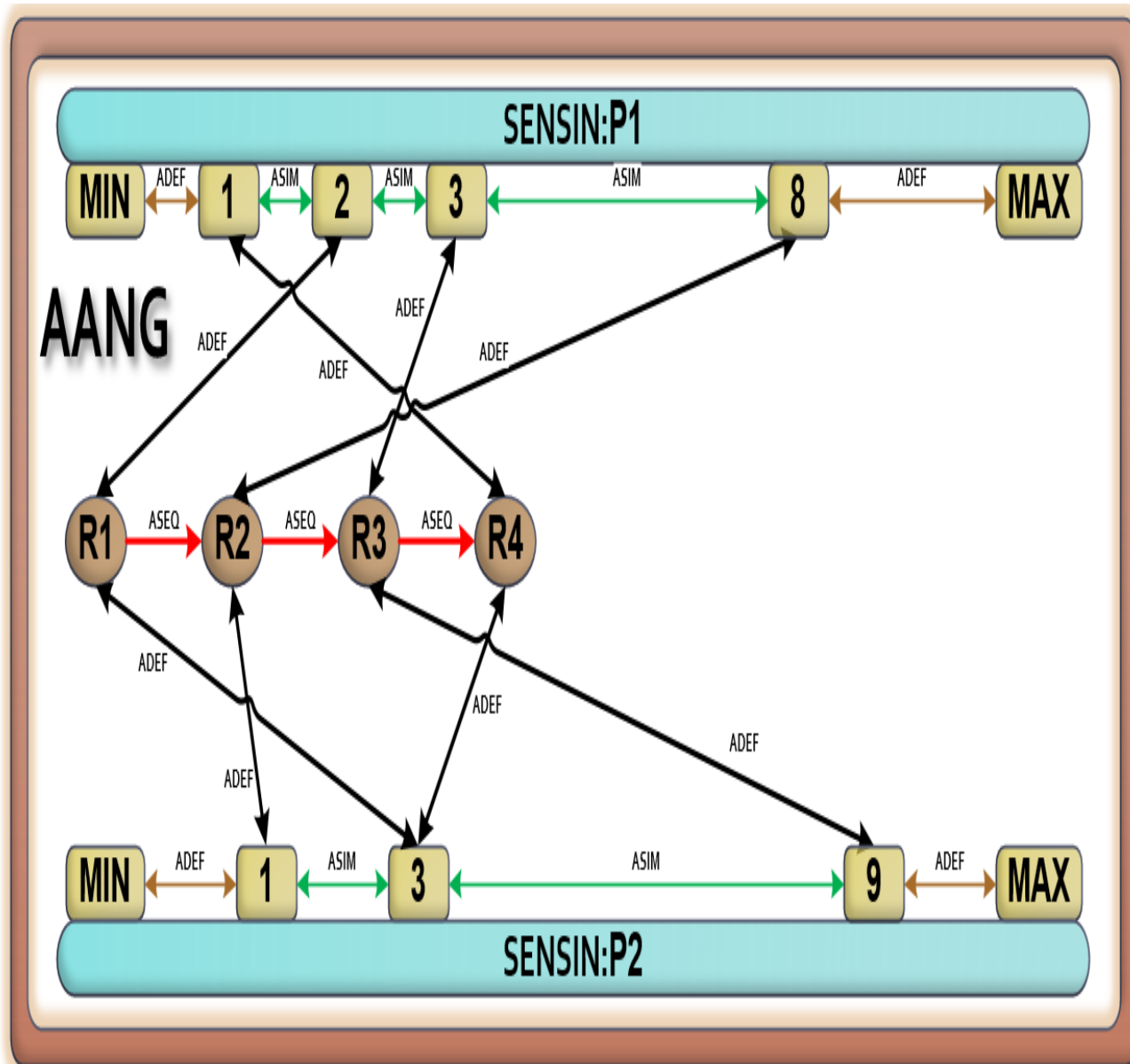
## TABELA

	P1	P2
R1	2	3
R2	8	1
R3	3	9
R4	1	3
R5	4	8
R6	4	5
R7	1	3
R8	9	1
R9	6	8

(E)



R4 1 3



# Transformacja tabeli na neuronową strukturę asocjacyjną



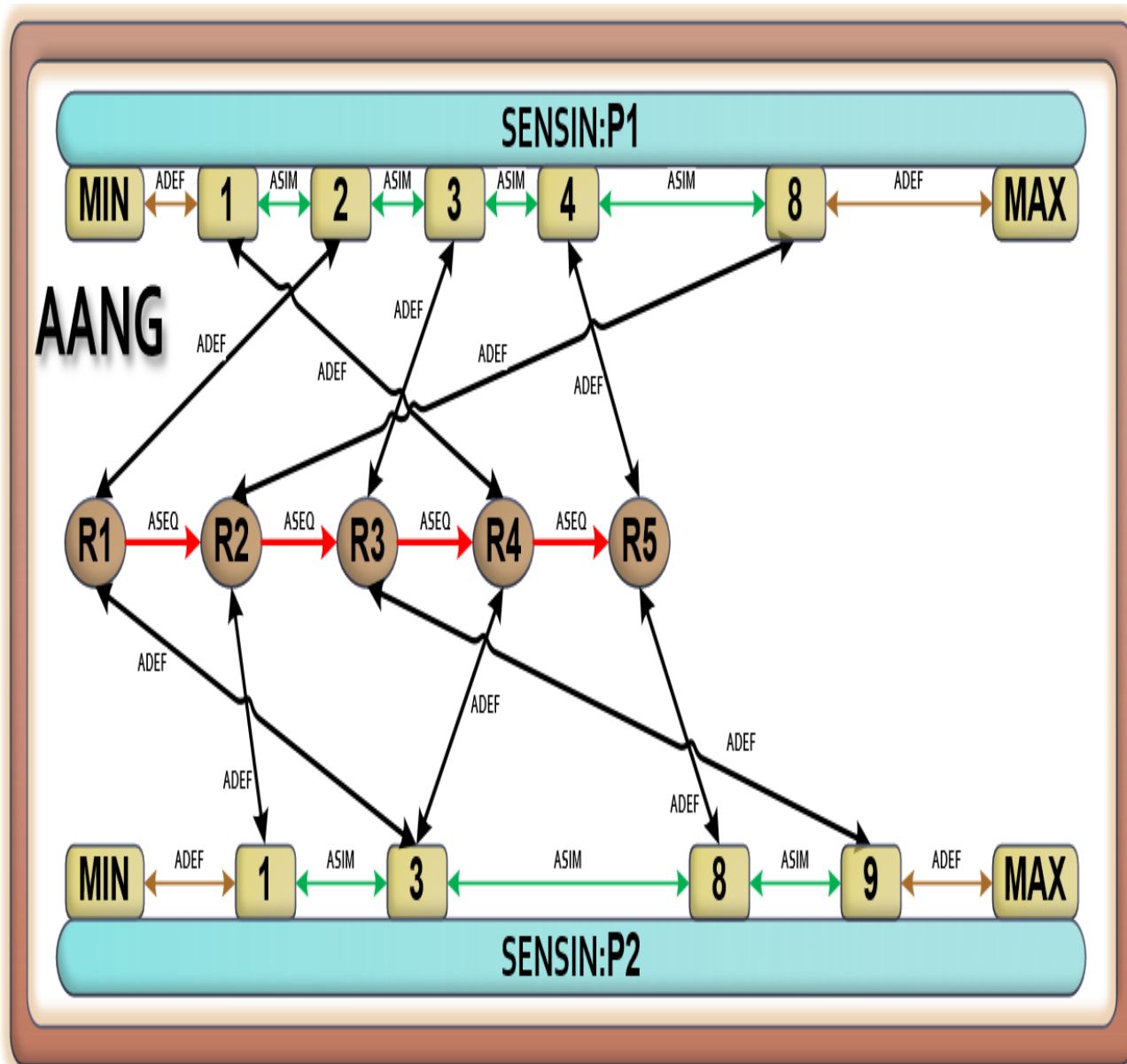
## TABELA

	P1	P2
R1	2	3
R2	8	1
R3	3	9
R4	1	3
R5	4	8
R6	4	5
R7	1	3
R8	9	1
R9	6	8

(F)



R5 4 8



# Transformacja tabeli na neuronową strukturę asocjacyjną



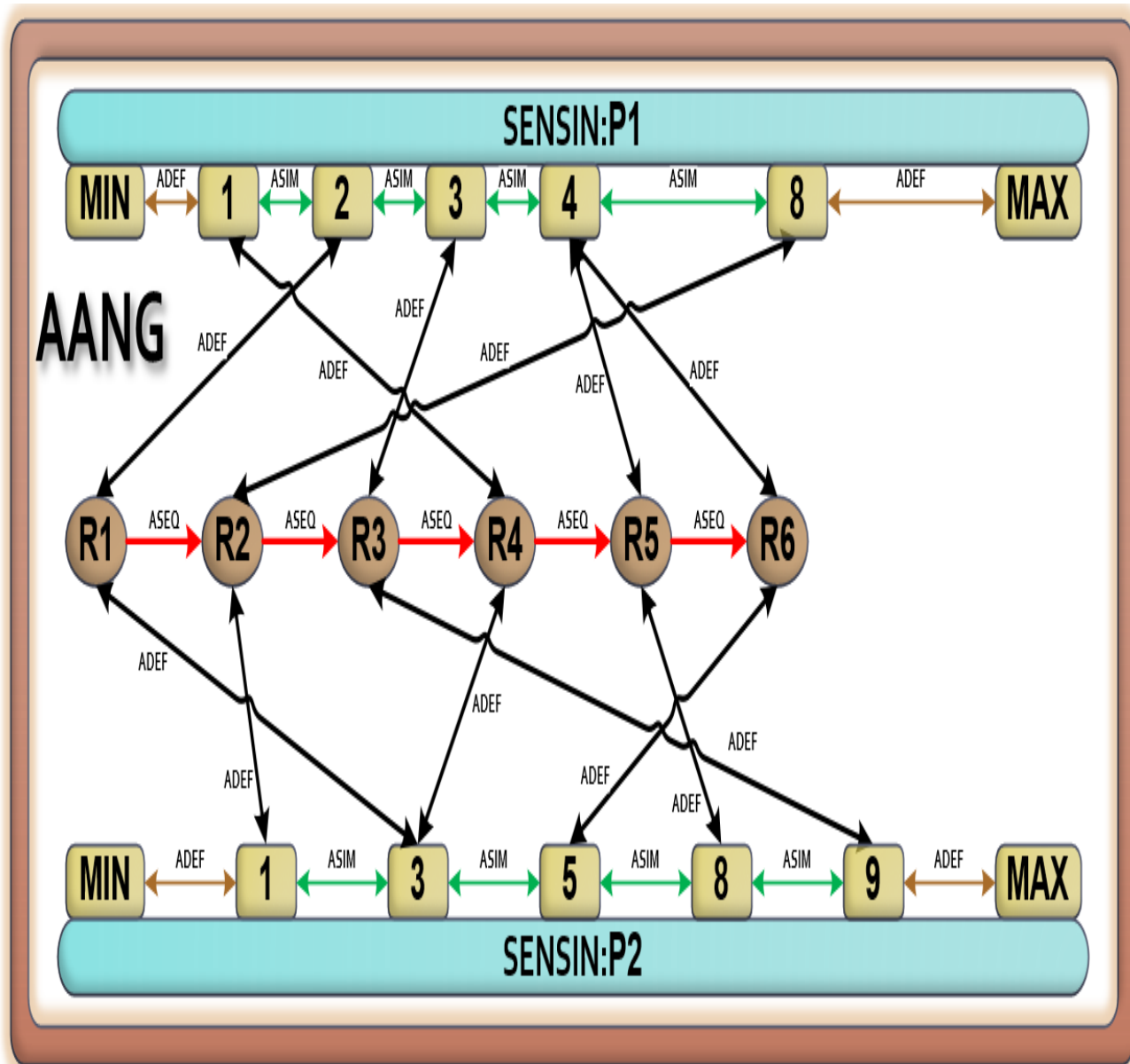
## TABELA

	P1	P2
R1	2	3
R2	8	1
R3	3	9
R4	1	3
R5	4	8
R6	4	5
R7	1	3
R8	9	1
R9	6	8

(G)



R6 4 5



# Transformacja tabeli na neuronową strukturę asocjacyjną



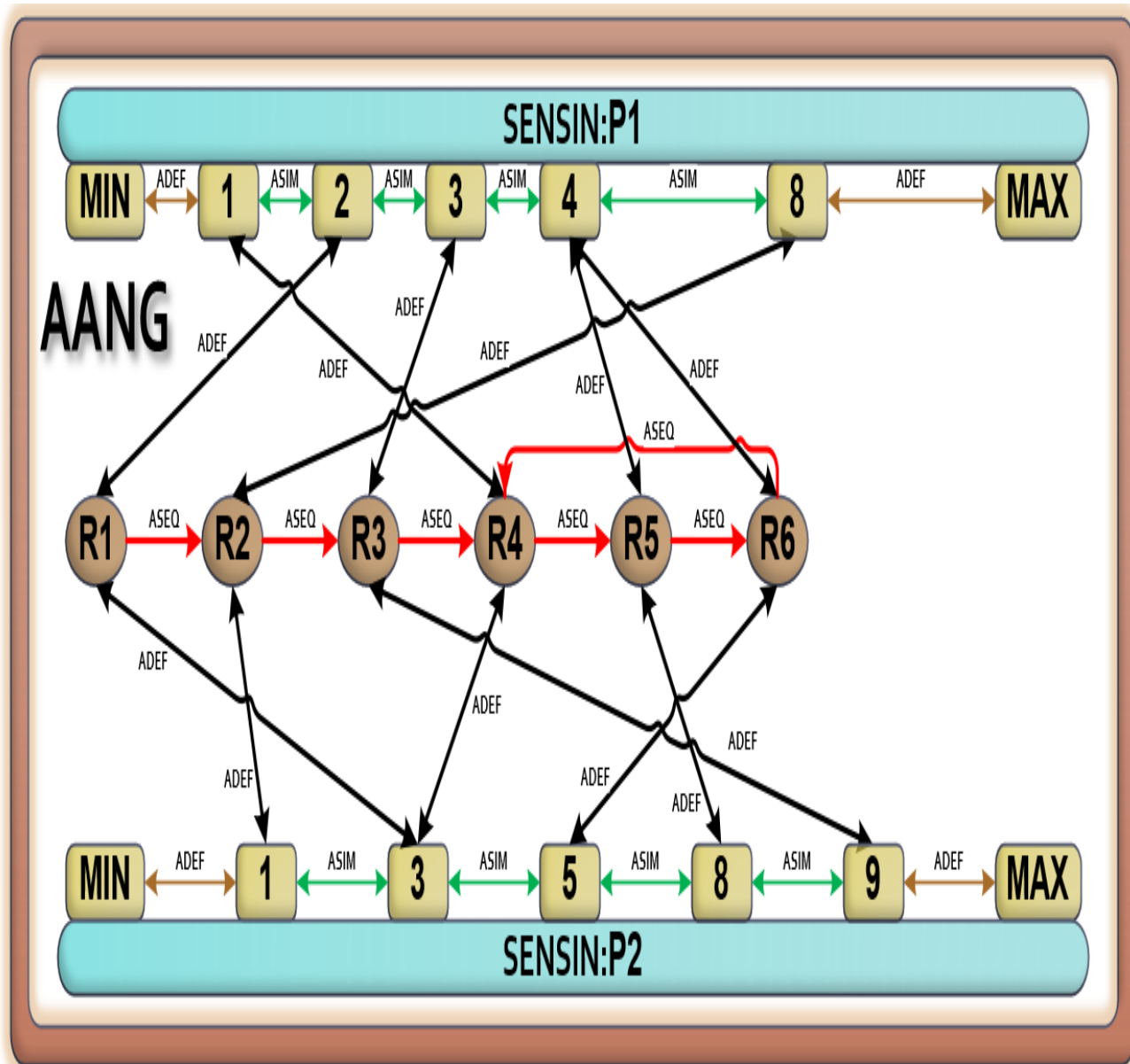
## TABELA

	P1	P2
R1	2	3
R2	8	1
R3	3	9
R4	1	3
R5	4	8
R6	4	5
R7	1	3
R8	9	1
R9	6	8

(H)



R7	1	3
----	---	---



# Transformacja tabeli na neuronową strukturę asocjacyjną



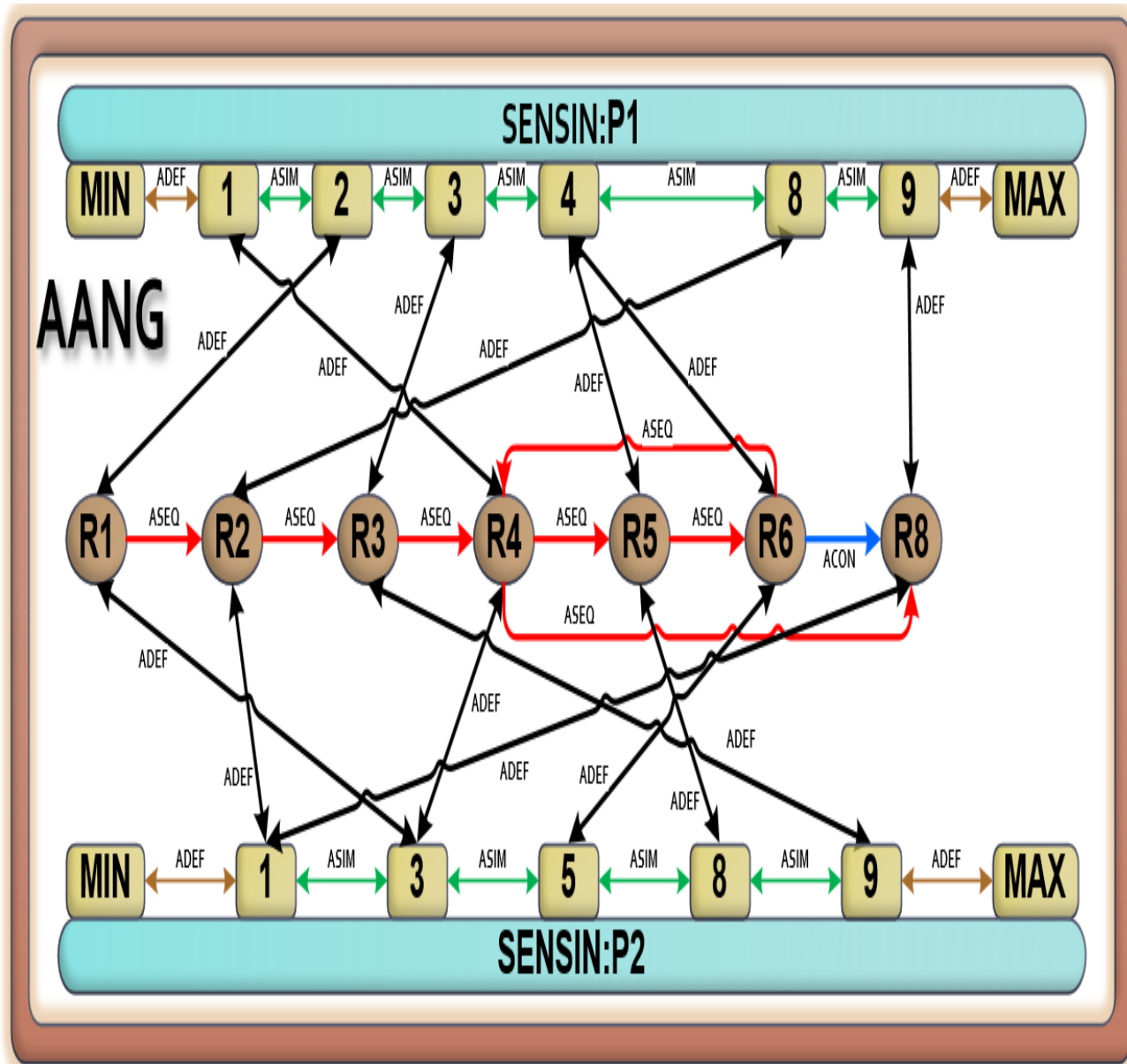
## TABELA

	P1	P2
R1	2	3
R2	8	1
R3	3	9
R4	1	3
R5	4	8
R6	4	5
R7	1	3
R8	9	1
R9	6	8

(I)



R8	9	1
----	---	---





# Transformacja tabeli na neuronową strukturę asocjacyjną



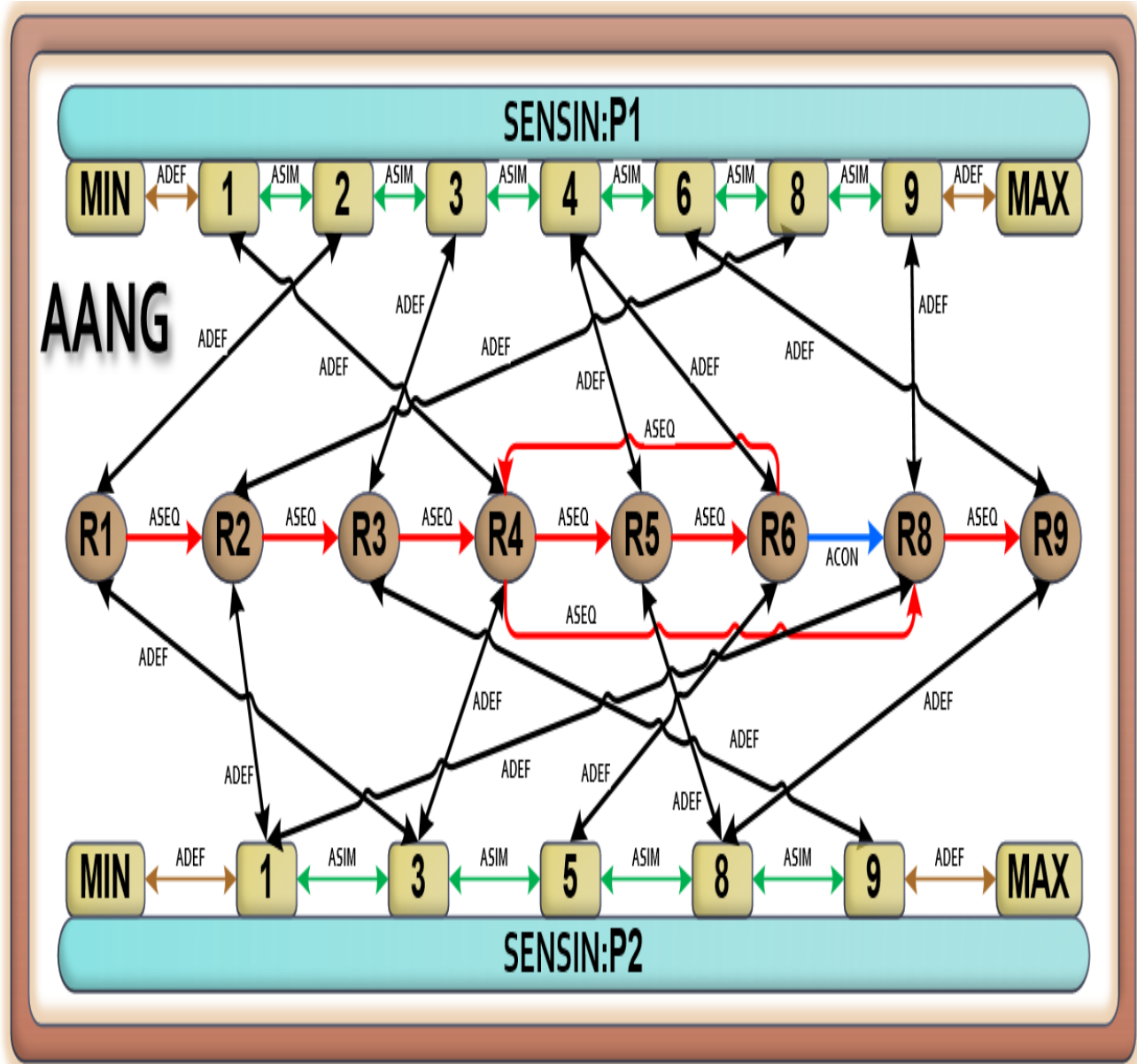
## TABELA

	P1	P2
R1	2	3
R2	8	1
R3	3	9
R4	1	3
R5	4	8
R6	4	5
R7	1	3
R8	9	1
R9	6	8

(J)



R9	6	8
----	---	---



# Transformacja tabeli na neuronową strukturę asocjacyjną



## TABELA

	P1	P2
R1	2	3
R2	8	1
R3	3	9
R4	1	3
R5	4	8
R6	4	5
R7	1	3
R8	9	1
R9	6	8

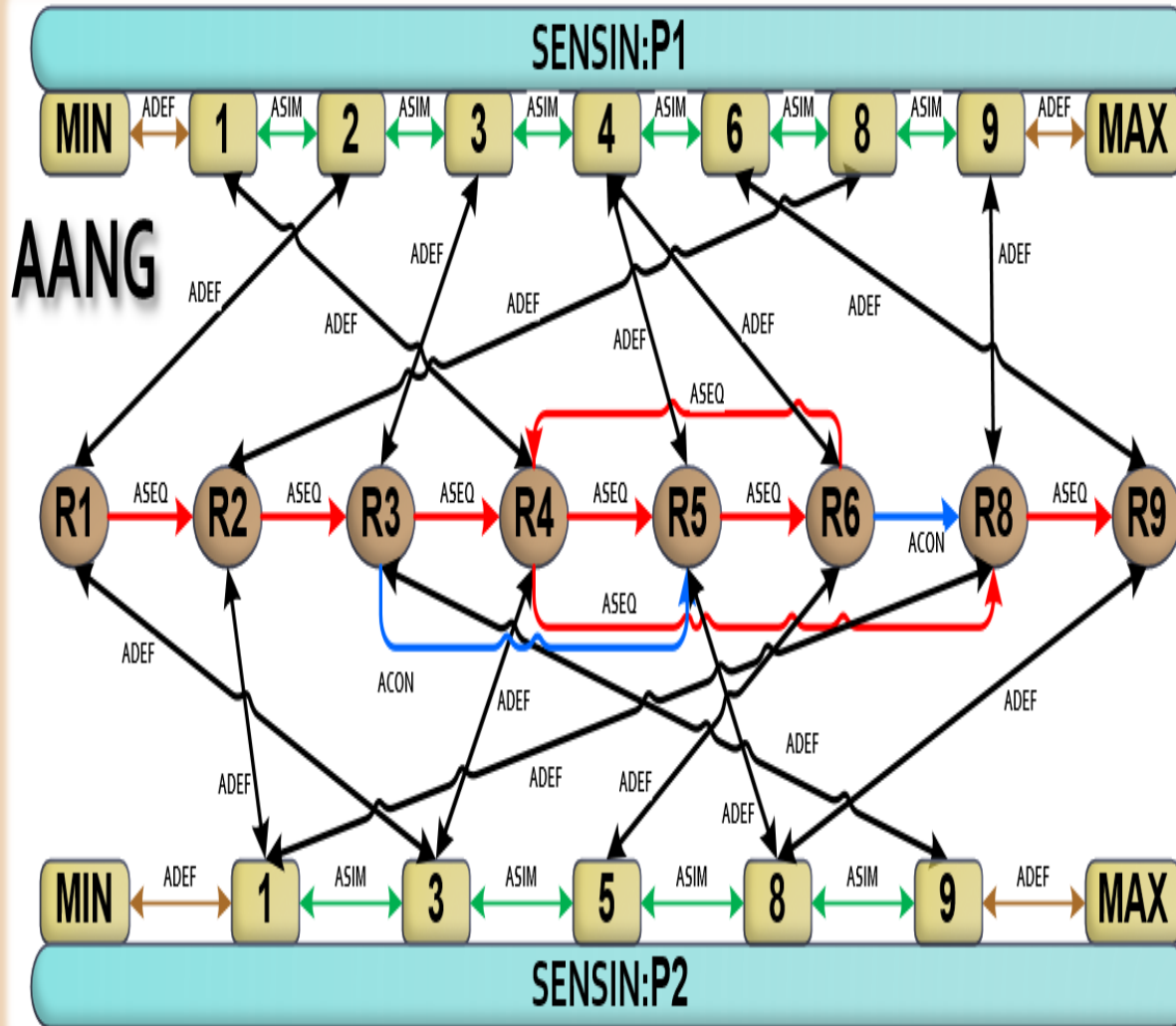
(K)



R1	2	3
----	---	---

...

R9	6	8
----	---	---



# Dlaczego warto dokonać takiej transformacji?



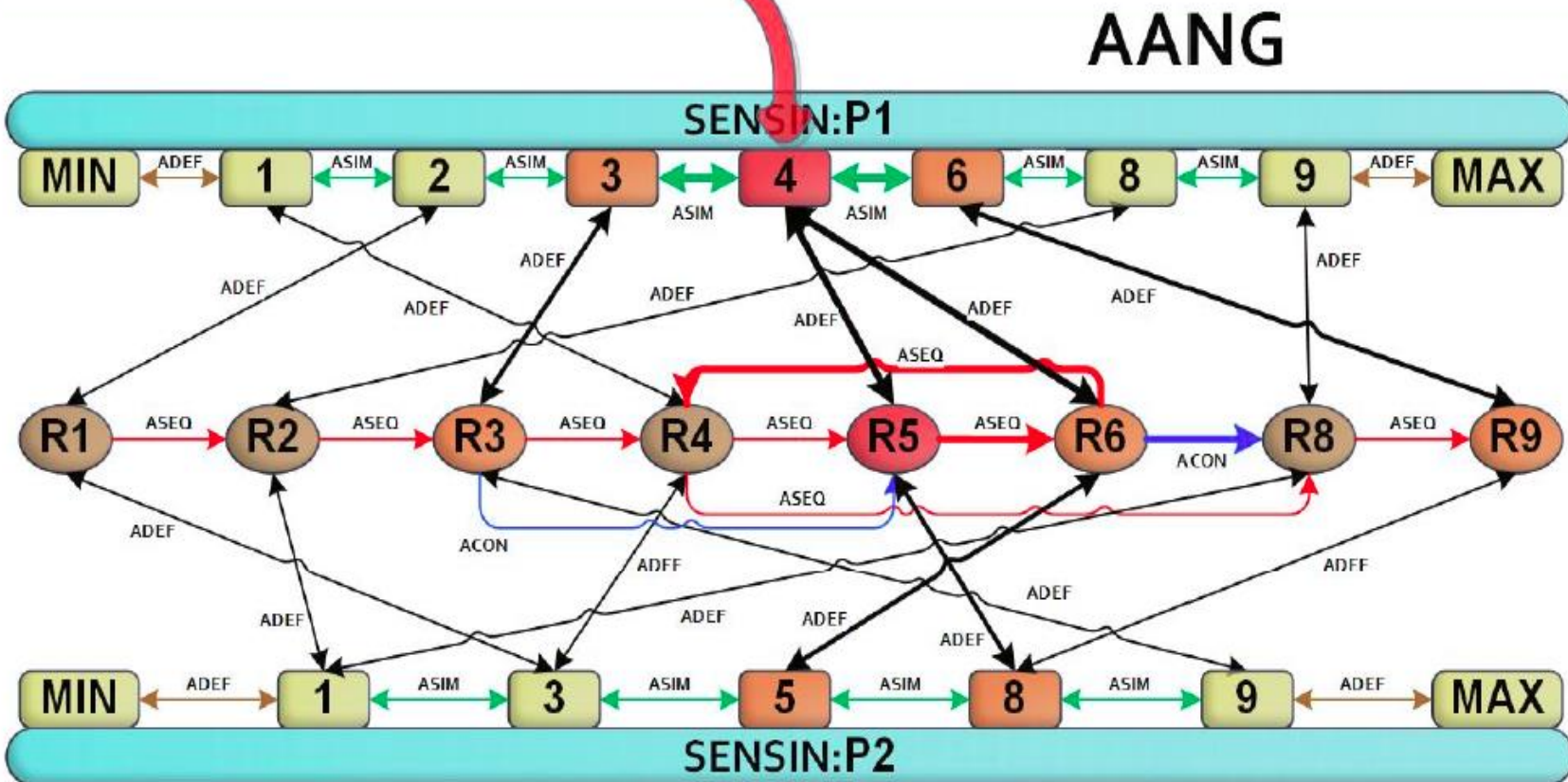
**Transformacja** umożliwia nam:

- ✓ **eliminację wszystkich duplikatów** danych (takie same wartości są agregowane i reprezentowane tylko jednokrotnie),
- ✓ **asocjacyjne powiązanie podobnych danych** oddzielnie dla wszystkich atrybutów danych oraz ułożenie ich według określonego porządku (o ile istnieje) – **równoczesne posortowanie względem wszystkich atrybutów**,
- ✓ **asocjacyjne powiązanie ze sobą neuronowych reprezentacji wszystkich obiektów** dzięki zagregowanej i posortowanej reprezentacji wszystkich danych je definiujących,
- ✓ **asocjacyjne powiązanie ze sobą kolejnych obiektów**, szczególnie jeśli ta kolejność ma znaczenie (opcjonalne),
- ✓ możliwość łatwego i szybkiego **wyznaczania podobieństw i różnic** pomiędzy wybranymi obiektami albo pomiędzy wybranym obiektem i wszystkimi pozostałymi oraz **kolejności względem dowolnych atrybutów**.

# Receptory mogą zostać zewnętrznie pobudzone



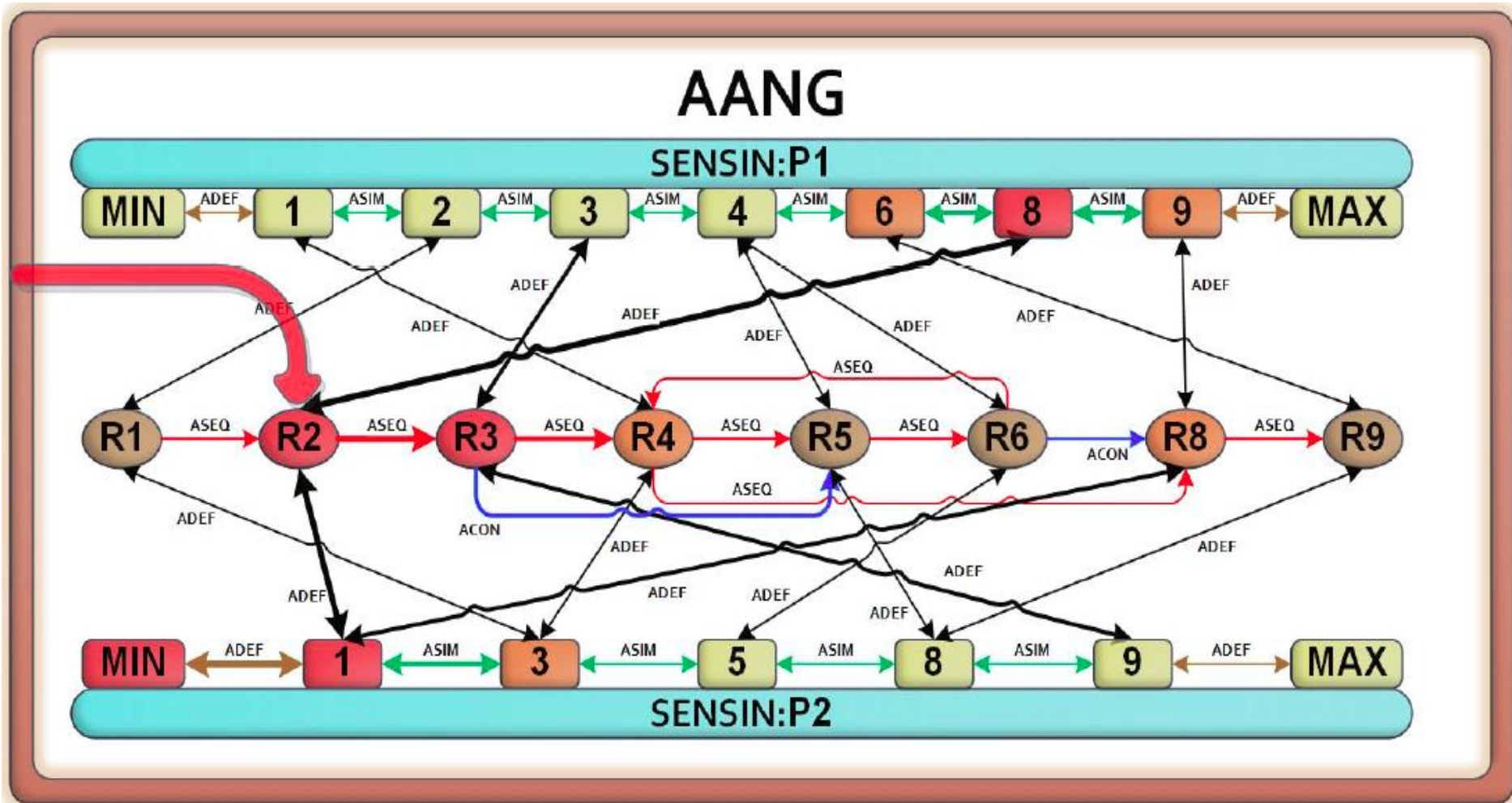
Zewnętrzne pobudzenie wejść sensorycznych lub ich kombinacji pobudzających neurony reprezentujące obiekty umożliwia prawie natychmiastowe odnalezienie najbardziej podobnych obiektów lub obiektów posiadających określone atrybuty.



# Neurony mogą zostać zewnętrznie pobudzone

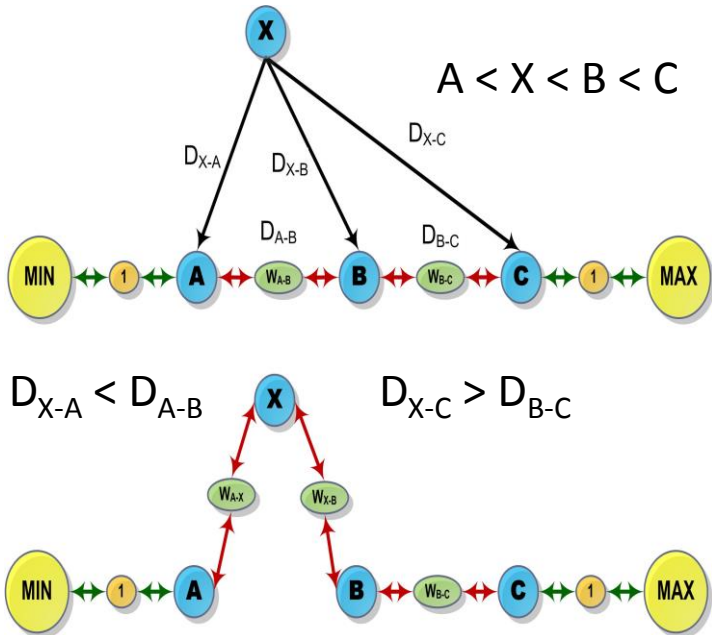


Zewnętrzne lub wewnętrzne pobudzenie neuronów reprezentujących obiekty umożliwia prawie natychmiastowe odnalezienie następników lub **najbardziej podobnych obiektów** oraz **określenie różnic pomiędzy nimi**.



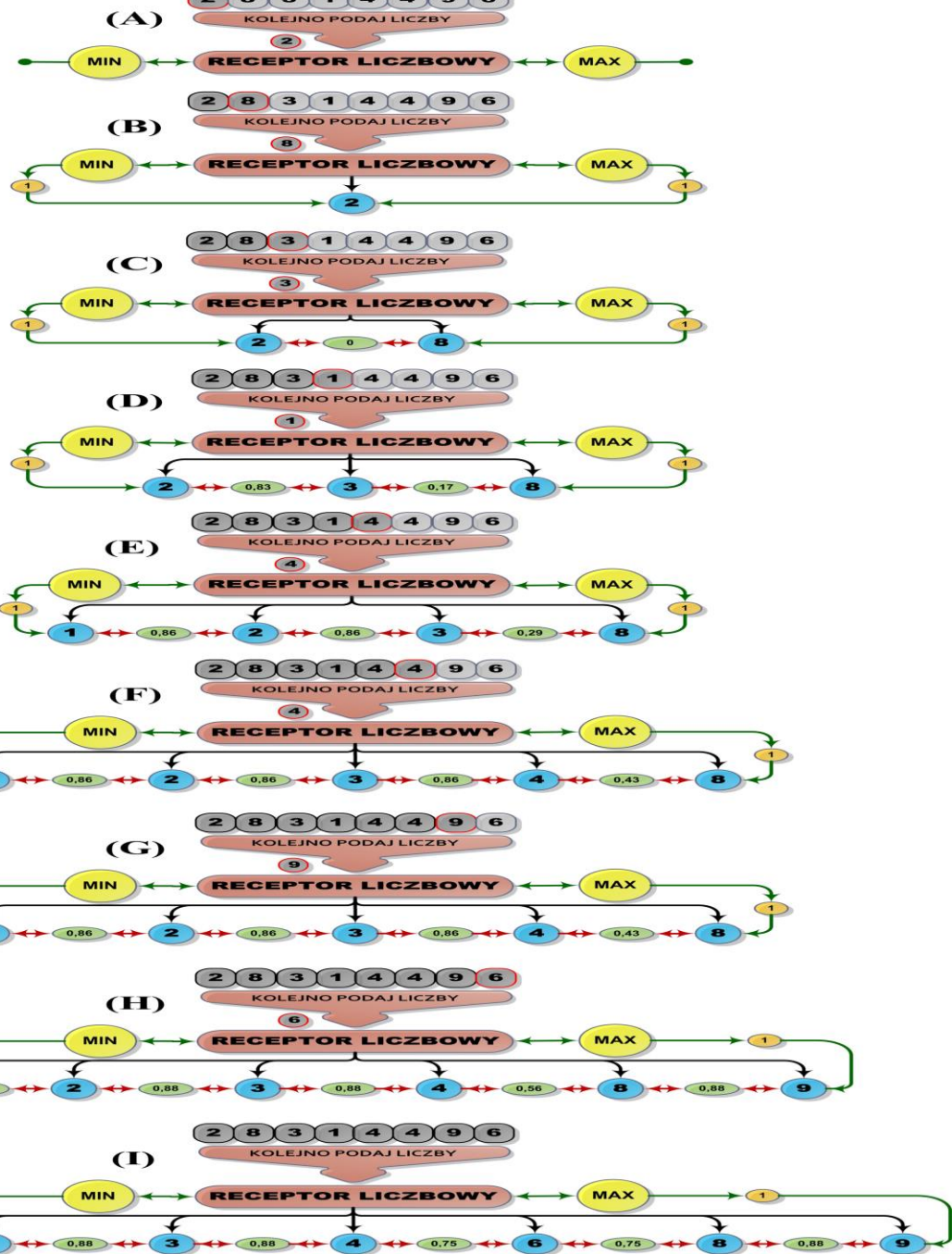
# ASOCJACYJNE SORTOWANIE RÓWNOLEGŁE ASSORT

ma złożoność  $O(n)$

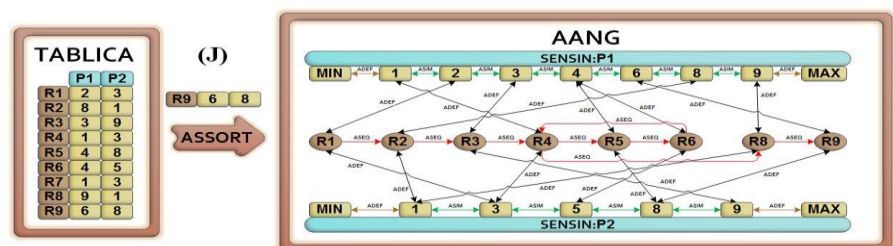
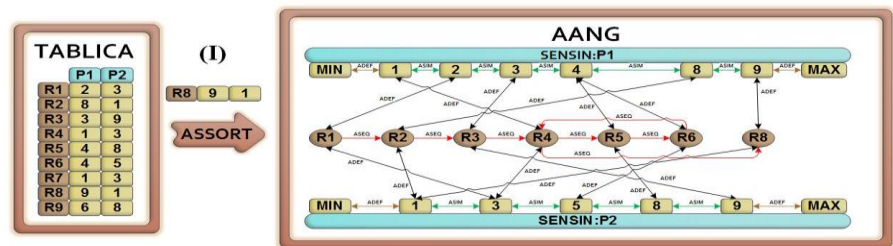
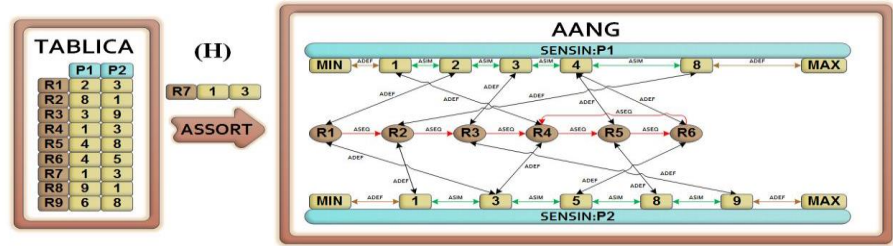
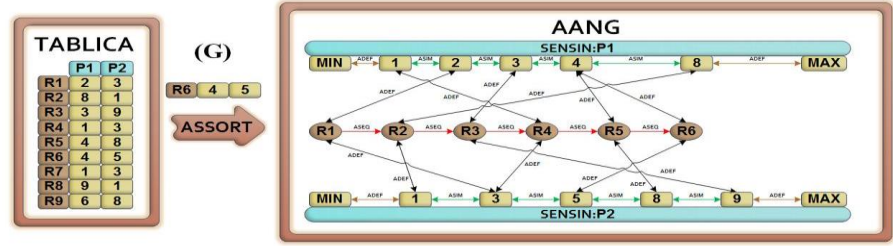
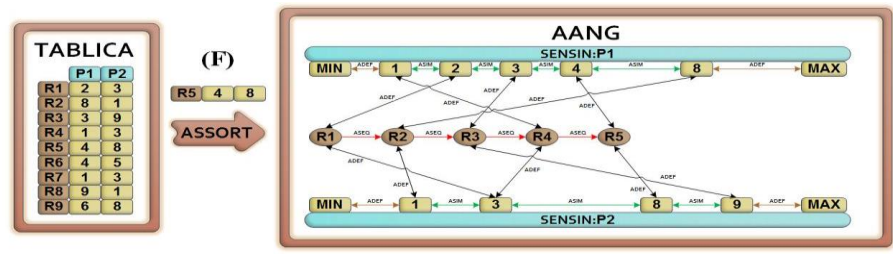
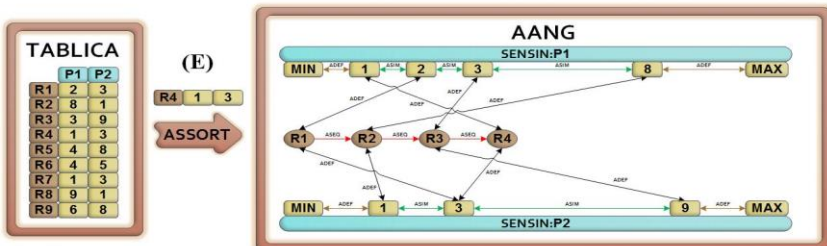
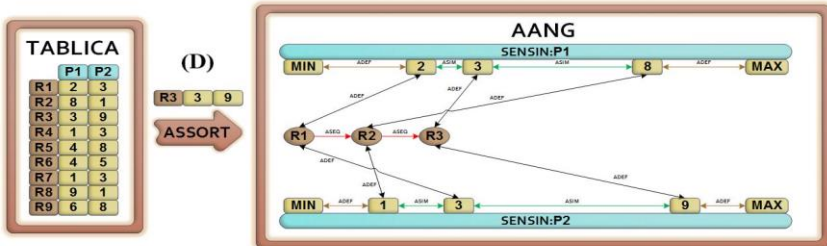
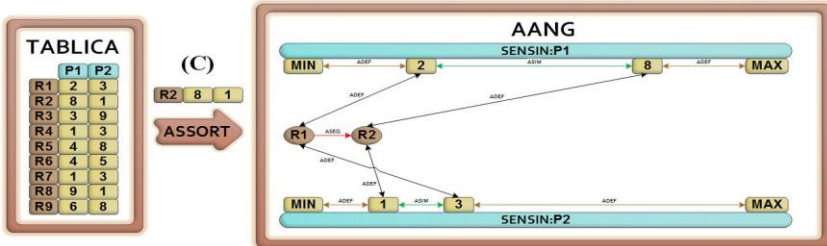
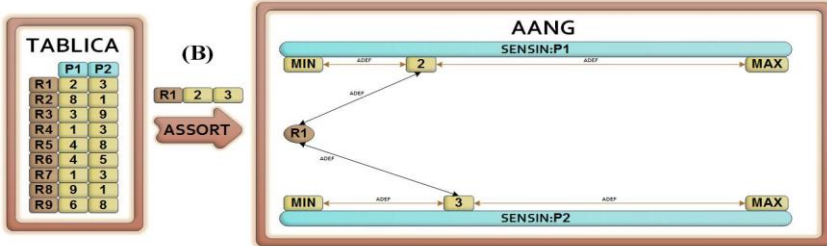
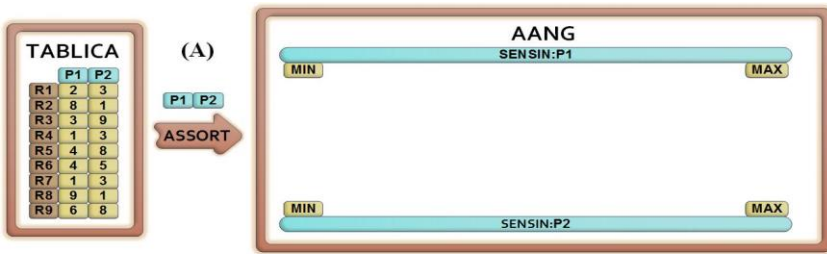


KLASYCZNA TABELA LICZB DO POSORTOWANIA

2 8 3 1 4 4 9 6



# NEURONY mogą SORTOWAĆ dane równocześnie względem wszystkich atrybutów



# Zadanie klasyfikacji obiektów

Mamy pewien zbiór uczący (np. zbiór Iris) i chcemy zbudować klasyfikator.

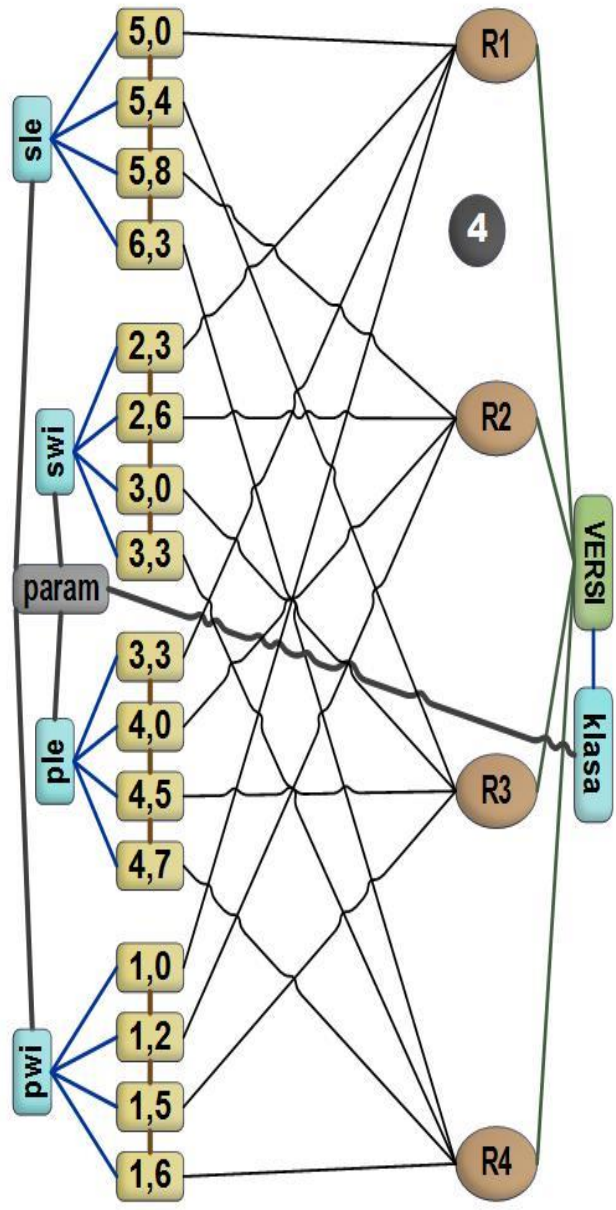
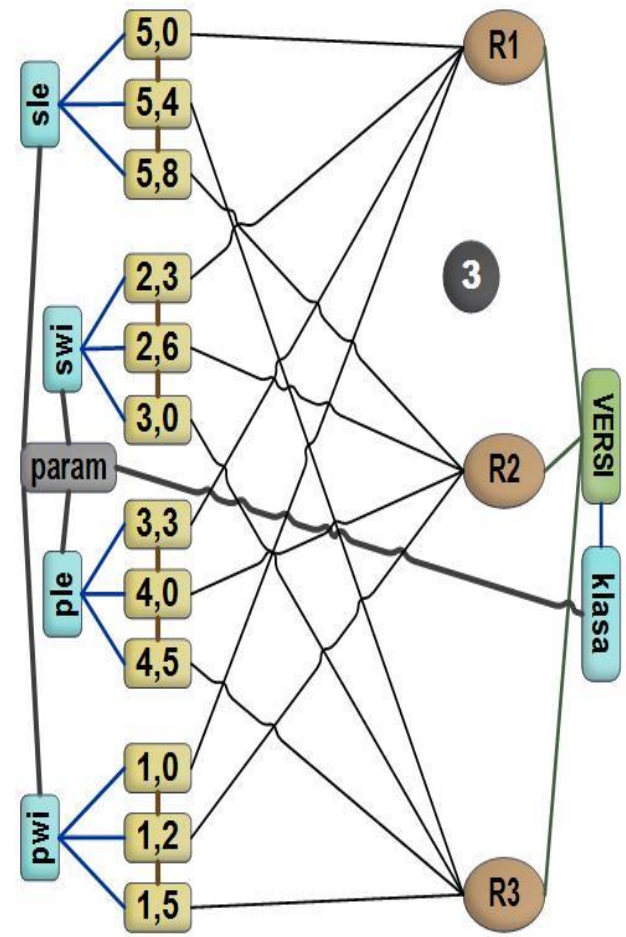
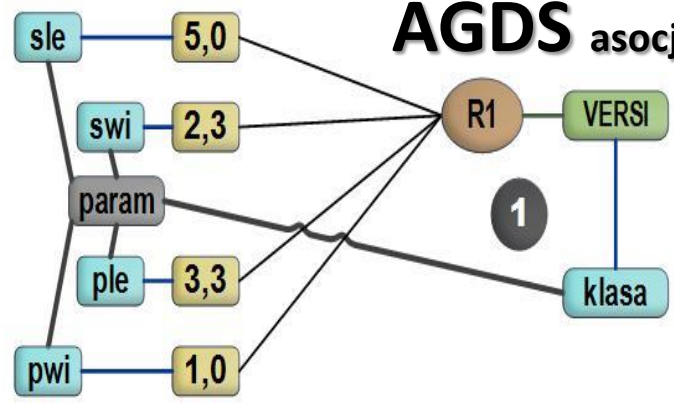
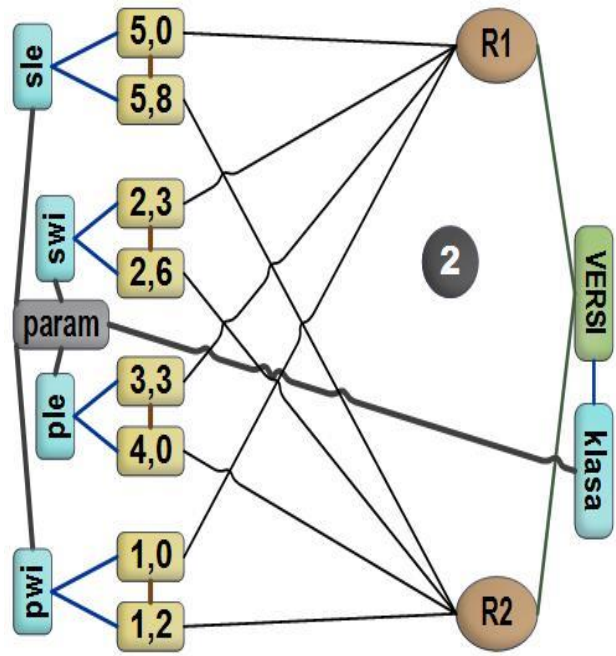
Lp.	klasa	długość liścia	szerokość liścia	długość płatk	szerokość płatk	Lp.	klasa	długość liścia	szerokość liścia	długość płatk	szerokość płatk	Lp.	klasa	długość liścia	szerokość liścia	długość płatk	szerokość płatk
1	Iris Setosa	5,1	3,5	1,4	0,2	51	Iris Versicolor	7,0	3,2	4,7	1,4	101	Iris Virginica	6,3	3,3	6,0	2,5
2	Iris Setosa	4,9	3,0	1,4	0,2	52	Iris Versicolor	6,4	3,2	4,5	1,5	102	Iris Virginica	5,8	2,7	5,1	1,9
3	Iris Setosa	4,7	3,2	1,3	0,2	53	Iris Versicolor	6,9	3,1	4,9	1,5	103	Iris Virginica	7,1	3,0	5,9	2,1
4	Iris Setosa	4,6	3,1	1,5	0,2	54	Iris Versicolor	5,5	2,3	4,0	1,3	104	Iris Virginica	6,3	2,9	5,6	1,8
5	Iris Setosa	5,0	3,6	1,4	0,2	55	Iris Versicolor	6,5	2,8	4,6	1,5	105	Iris Virginica	6,5	3,0	5,8	2,2
6	Iris Setosa	5,4	3,9	1,7	0,4	56	Iris Versicolor	5,7	2,8	4,5	1,3	106	Iris Virginica	7,6	3,0	6,6	2,1
7	Iris Setosa	4,6	3,4	1,4	0,3	57	Iris Versicolor	6,3	3,3	4,7	1,6	107	Iris Virginica	4,9	2,5	4,5	1,7
8	Iris Setosa	5,0	3,4	1,5	0,2	58	Iris Versicolor	4,9	2,4	3,3	1,0	108	Iris Virginica	7,3	2,9	6,3	1,8
9	Iris Setosa	4,4	2,9	1,4	0,2	59	Iris Versicolor	6,6	2,9	4,6	1,3	109	Iris Virginica	6,7	2,5	5,8	1,8
10	Iris Setosa	4,9	3,1	1,5	0,1	60	Iris Versicolor	5,2	2,7	3,9	1,4	110	Iris Virginica	7,2	3,6	6,1	2,5
11	Iris Setosa	5,4	3,7	1,5	0,2	61	Iris Versicolor	5,0	2,0	3,5	1,0	111	Iris Virginica	6,5	3,2	5,1	2,0
12	Iris Setosa	4,8	3,4	1,6	0,2	62	Iris Versicolor	5,9	3,0	4,2	1,5	112	Iris Virginica	6,4	2,7	5,3	1,9
13	Iris Setosa	4,8	3,0	1,4	0,1	63	Iris Versicolor	6,0	2,2	4,0	1,0	113	Iris Virginica	6,8	3,0	5,5	2,1
14	Iris Setosa	4,3	3,0	1,1	0,1	64	Iris Versicolor	6,1	2,9	4,7	1,4	114	Iris Virginica	5,7	2,5	5,0	2,0
15	Iris Setosa	5,8	4,0	1,2	0,2	65	Iris Versicolor	5,6	2,9	3,6	1,3	115	Iris Virginica	5,8	2,8	5,1	2,4
16	Iris Setosa	5,7	4,4	1,5	0,4	66	Iris Versicolor	6,7	3,1	4,4	1,4	116	Iris Virginica	6,4	3,2	5,3	2,3
17	Iris Setosa	5,4	3,9	1,3	0,4	67	Iris Versicolor	5,6	3,0	4,5	1,5	117	Iris Virginica	6,5	3,0	5,5	1,8
18	Iris Setosa	5,1	3,5	1,4	0,3	68	Iris Versicolor	5,8	2,7	4,1	1,0	118	Iris Virginica	7,7	3,8	6,7	2,2
19	Iris Setosa	5,7	3,8	1,7	0,3	69	Iris Versicolor	6,2	2,2	4,5	1,5	119	Iris Virginica	7,7	2,6	6,9	2,3
20	Iris Setosa	5,1	3,8	1,5	0,3	70	Iris Versicolor	5,6	2,5	3,9	1,1	120	Iris Virginica	6,0	2,2	5,0	1,5
21	Iris Setosa	5,4	3,4	1,7	0,2	71	Iris Versicolor	5,9	3,2	4,8	1,8	121	Iris Virginica	6,9	3,2	5,7	2,3
22	Iris Setosa	5,1	3,7	1,5	0,4	72	Iris Versicolor	6,1	2,8	4,0	1,3	122	Iris Virginica	5,6	2,8	4,9	2,0
23	Iris Setosa	4,6	3,6	1,0	0,2	73	Iris Versicolor	6,3	2,5	4,9	1,5	123	Iris Virginica	7,7	2,8	6,7	2,0
24	Iris Setosa	5,1	3,3	1,7	0,5	74	Iris Versicolor	6,1	2,8	4,7	1,2	124	Iris Virginica	6,3	2,7	4,9	1,8
25	Iris Setosa	4,8	3,4	1,9	0,2	75	Iris Versicolor	6,4	2,9	4,3	1,3	125	Iris Virginica	6,7	3,3	5,7	2,1
26	Iris Setosa	5,0	3,0	1,6	0,2	76	Iris Versicolor	6,6	3,0	4,4	1,4	126	Iris Virginica	7,2	3,2	6,0	1,8
27	Iris Setosa	5,0	3,4	1,6	0,4	77	Iris Versicolor	6,8	2,8	4,8	1,4	127	Iris Virginica	6,2	2,8	4,8	1,8
28	Iris Setosa	5,2	3,5	1,5	0,2	78	Iris Versicolor	6,7	3,0	5,0	1,7	128	Iris Virginica	6,1	3,0	4,9	1,8
29	Iris Setosa	5,2	3,4	1,4	0,2	79	Iris Versicolor	6,0	2,9	4,5	1,5	129	Iris Virginica	6,4	2,8	5,6	2,1
30	Iris Setosa	4,7	3,2	1,6	0,2	80	Iris Versicolor	5,7	2,6	3,5	1,0	130	Iris Virginica	7,2	3,0	5,8	1,6
31	Iris Setosa	4,8	3,1	1,6	0,2	81	Iris Versicolor	5,5	2,4	3,8	1,1	131	Iris Virginica	7,4	2,8	6,1	1,9
32	Iris Setosa	5,4	3,4	1,5	0,4	82	Iris Versicolor	5,5	2,4	3,7	1,0	132	Iris Virginica	7,9	3,8	6,4	2,0
33	Iris Setosa	5,2	4,1	1,5	0,1	83	Iris Versicolor	5,8	2,7	3,9	1,2	133	Iris Virginica	6,4	2,8	5,6	2,2
34	Iris Setosa	5,5	4,2	1,4	0,2	84	Iris Versicolor	6,0	2,7	5,1	1,6	134	Iris Virginica	6,3	2,8	5,1	1,5
35	Iris Setosa	4,9	3,1	1,5	0,1	85	Iris Versicolor	5,4	3,0	4,5	1,5	135	Iris Virginica	6,1	2,6	5,6	1,4
36	Iris Setosa	5,0	3,2	1,2	0,2	86	Iris Versicolor	6,0	3,4	4,5	1,6	136	Iris Virginica	7,7	3,0	6,1	2,3
37	Iris Setosa	5,5	3,5	1,3	0,2	87	Iris Versicolor	6,7	3,1	4,7	1,5	137	Iris Virginica	6,3	3,4	5,6	2,4
38	Iris Setosa	4,9	3,1	1,5	0,1	88	Iris Versicolor	6,3	2,3	4,4	1,3	138	Iris Virginica	6,4	3,1	5,5	1,8
39	Iris Setosa	4,4	3,0	1,3	0,2	89	Iris Versicolor	5,6	3,0	4,1	1,3	139	Iris Virginica	6,0	3,0	4,8	1,8
40	Iris Setosa	5,1	3,4	1,5	0,2	90	Iris Versicolor	5,5	2,5	4,0	1,3	140	Iris Virginica	6,9	3,1	5,4	2,1
41	Iris Setosa	5,0	3,5	1,3	0,3	91	Iris Versicolor	5,5	2,6	4,4	1,2	141	Iris Virginica	6,7	3,1	5,6	2,4
42	Iris Setosa	4,5	2,3	1,3	0,3	92	Iris Versicolor	6,1	3,0	4,6	1,4	142	Iris Virginica	6,9	3,1	5,1	2,3
43	Iris Setosa	4,4	3,2	1,3	0,2	93	Iris Versicolor	5,8	2,6	4,0	1,2	143	Iris Virginica	5,8	2,7	5,1	1,9
44	Iris Setosa	5,0	3,5	1,6	0,6	94	Iris Versicolor	5,0	2,3	3,3	1,0	144	Iris Virginica	6,8	3,2	5,9	2,3
45	Iris Setosa	5,1	3,8	1,9	0,4	95	Iris Versicolor	5,6	2,7	4,2	1,3	145	Iris Virginica	6,7	3,3	5,7	2,5
46	Iris Setosa	4,8	3,0	1,4	0,3	96	Iris Versicolor	5,7	3,0	4,2	1,2	146	Iris Virginica	6,7	3,0	5,2	2,3
47	Iris Setosa	5,1	3,8	1,6	0,2	97	Iris Versicolor	5,7	2,9	4,2	1,3	147	Iris Virginica	6,3	2,5	5,0	1,9
48	Iris Setosa	4,6	3,2	1,4	0,2	98	Iris Versicolor	6,2	2,9	4,3	1,3	148	Iris Virginica	6,5	3,0	5,2	2,0
49	Iris Setosa	5,3	3,7	1,5	0,2	99	Iris Versicolor	5,1	2,5	3,0	1,1	149	Iris Virginica	6,2	3,4	5,4	2,3
50	Iris Setosa	5,0	3,3	1,4	0,2	100	Iris Versicolor	5,7	2,8	4,1	1,3	150	Iris Virginica	5,9	3,0	5,1	1,8

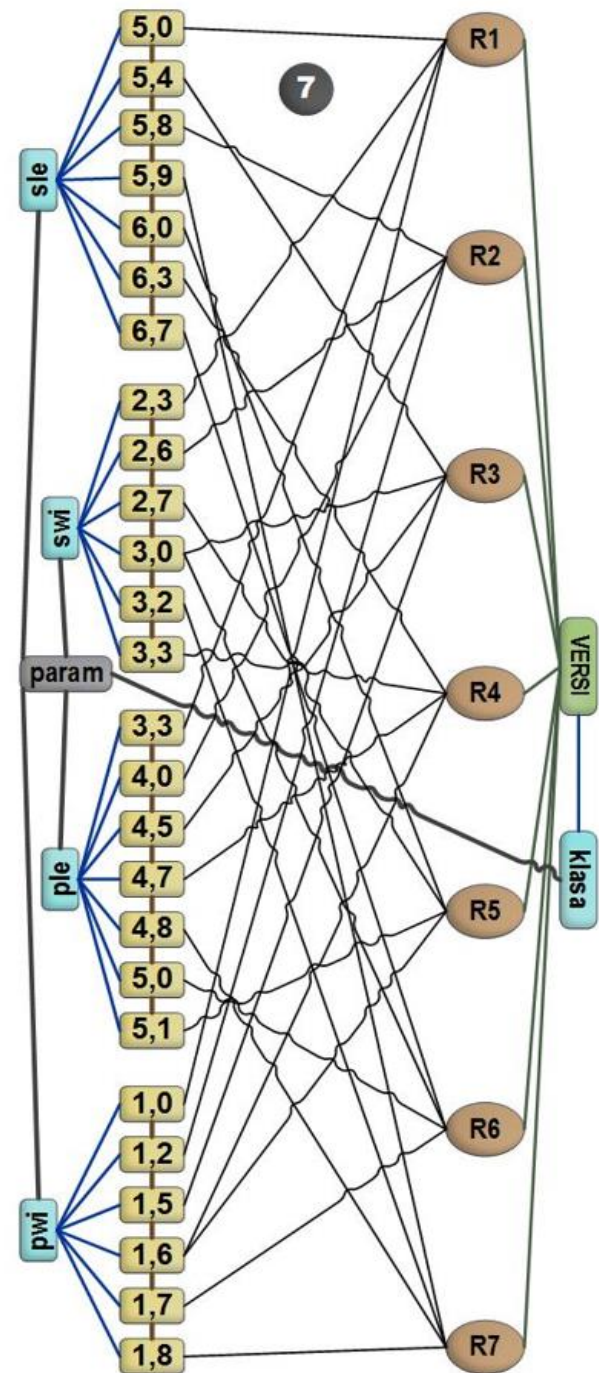
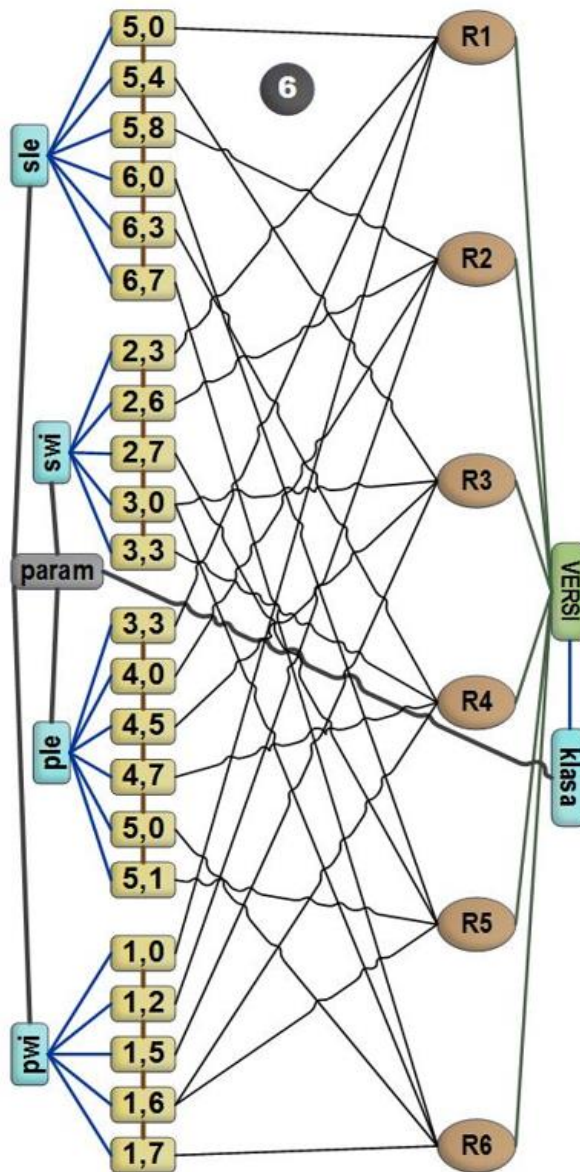
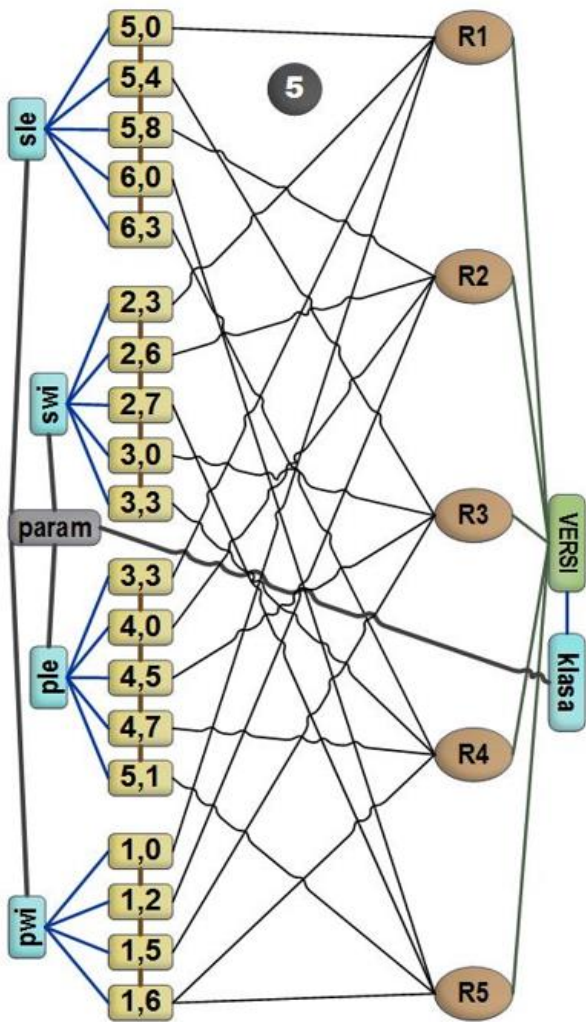


# WZORCE IRIS

param	sle	swi	ple	pwi	klasa
R1	5,0	2,3	3,3	1,0	VERSI
R2	5,8	2,6	4,0	1,2	VERSI
R3	5,4	3,0	4,5	1,5	VERSI
R4	6,3	3,3	4,7	1,6	VERSI
R5	6,0	2,7	5,1	1,6	VERSI
R6	6,7	3,0	5,0	1,7	VERSI
R7	5,9	3,2	4,8	1,8	VERSI
R8	6,0	2,2	5,0	1,5	VIRGIN
R9	4,9	2,5	4,5	1,7	VIRGIN
R10	6,0	3,0	4,8	1,8	VIRGIN
R11	5,8	2,7	5,1	1,9	VIRGIN
R12	5,7	2,5	5,0	2,0	VIRGIN
R13	6,5	3,2	5,1	2,0	VIRGIN

# AGDS asocjacyjna grafowa struktura danych

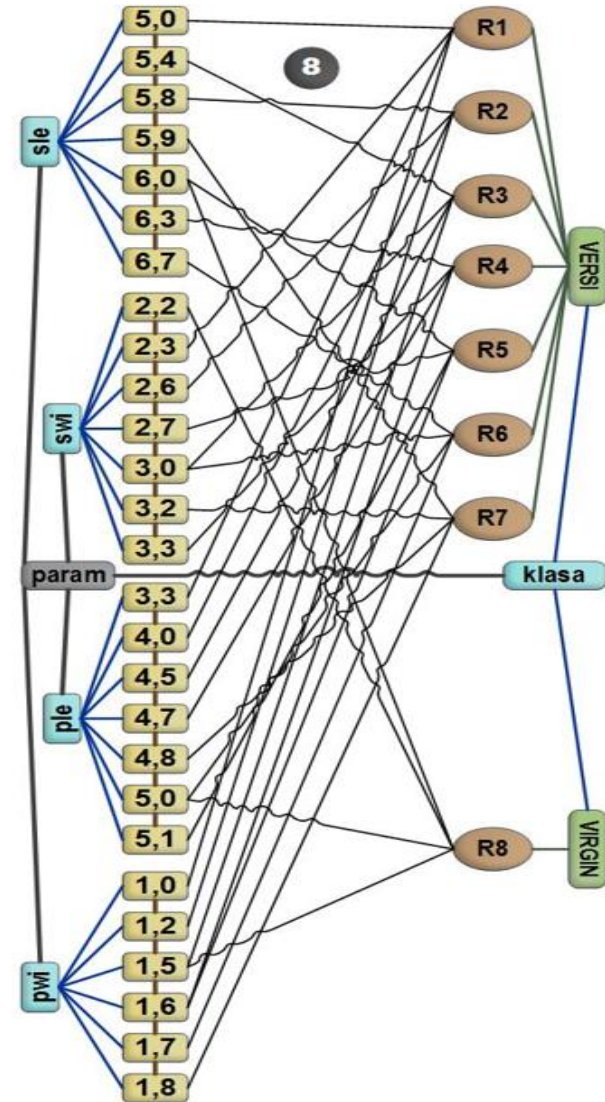
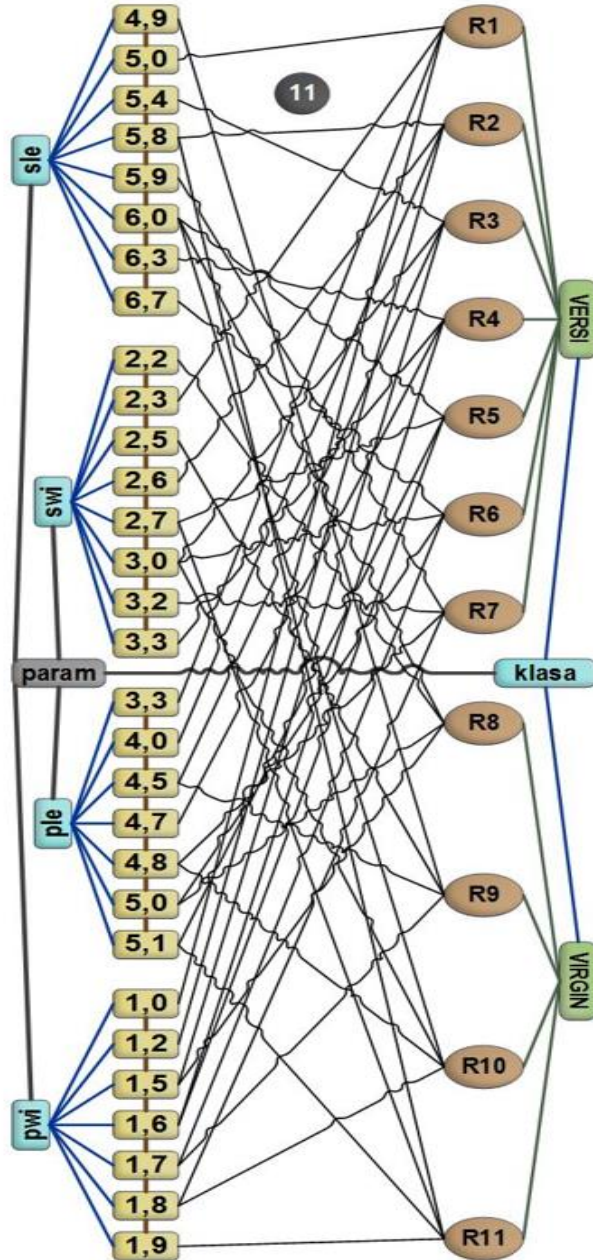
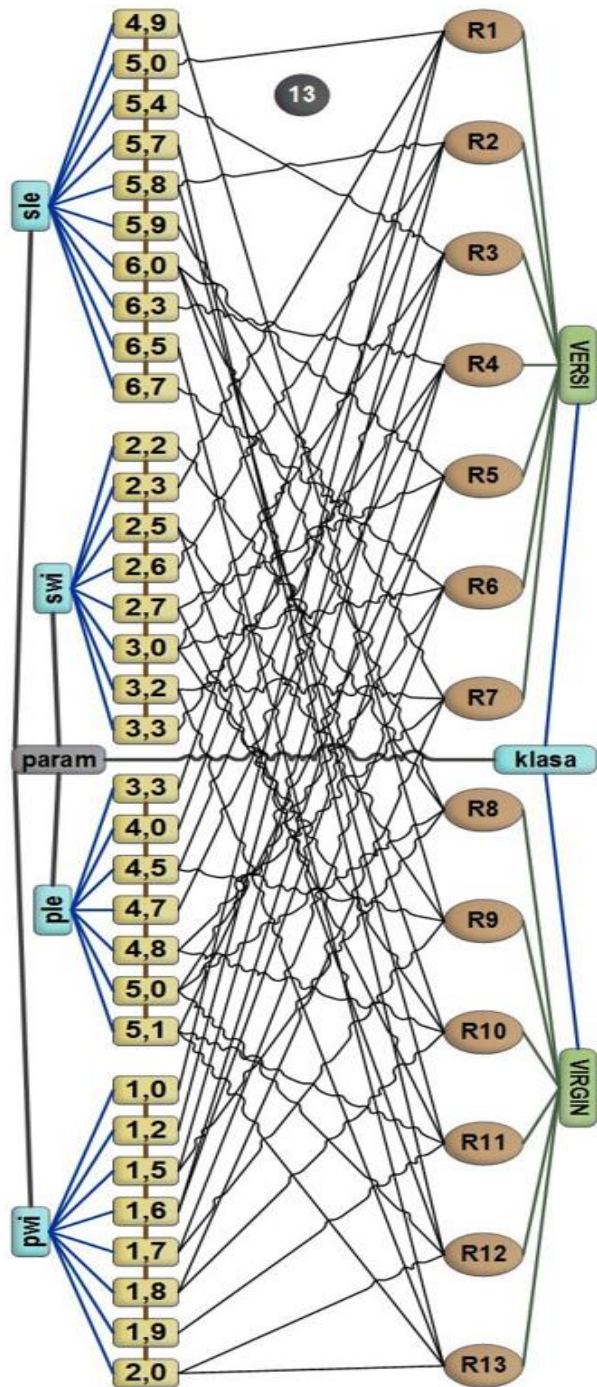




**AGDS**

**asocjacyjna grafowa struktura danych**

# AGDS - asocjacyjna grafowa struktura danych

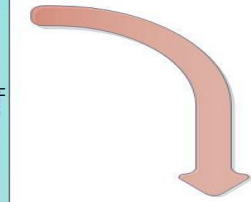


# TABLICA

param	sle	swi	ple	pwi	klasa
R1	5,0	2,3	3,3	1,0	VERSI
R2	5,8	2,6	4,0	1,2	VERSI
R3	5,4	3,0	4,5	1,5	VERSI
R4	6,3	3,3	4,7	1,6	VERSI
R5	6,0	2,7	5,1	1,6	VERSI
R6	6,7	3,0	5,0	1,7	VERSI
R7	5,9	3,2	4,8	1,8	VERSI
R8	6,0	2,2	5,0	1,5	VIRGIN
R9	4,9	2,5	4,5	1,7	VIRGIN
R10	6,0	3,0	4,8	1,8	VIRGIN
R11	5,8	2,7	5,1	1,9	VIRGIN
R12	5,7	2,5	5,0	2,0	VIRGIN
R13	6,5	3,2	5,1	2,0	VIRGIN

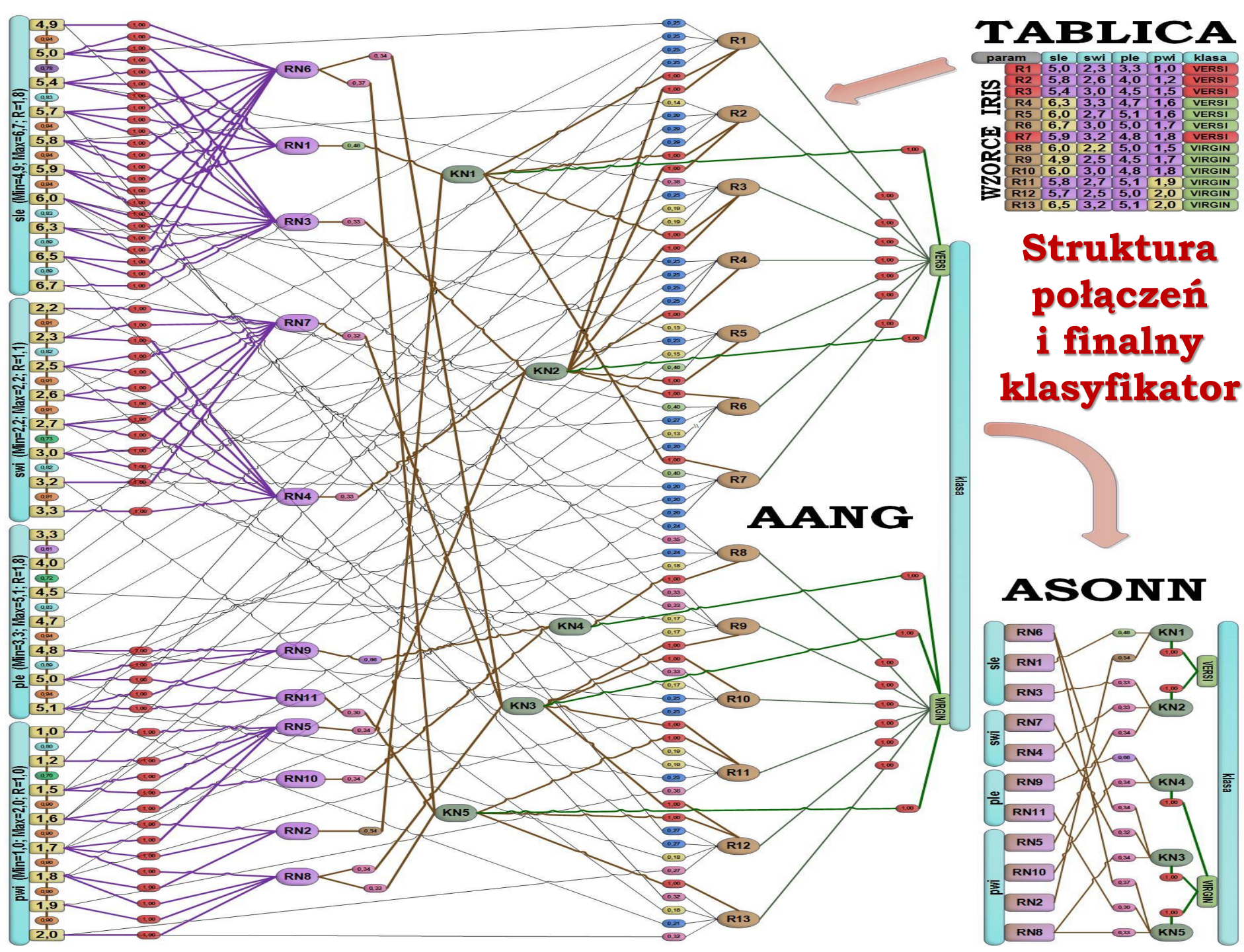
WZORCE IRIS

**Struktura połączeń i finalny klasyfikator**

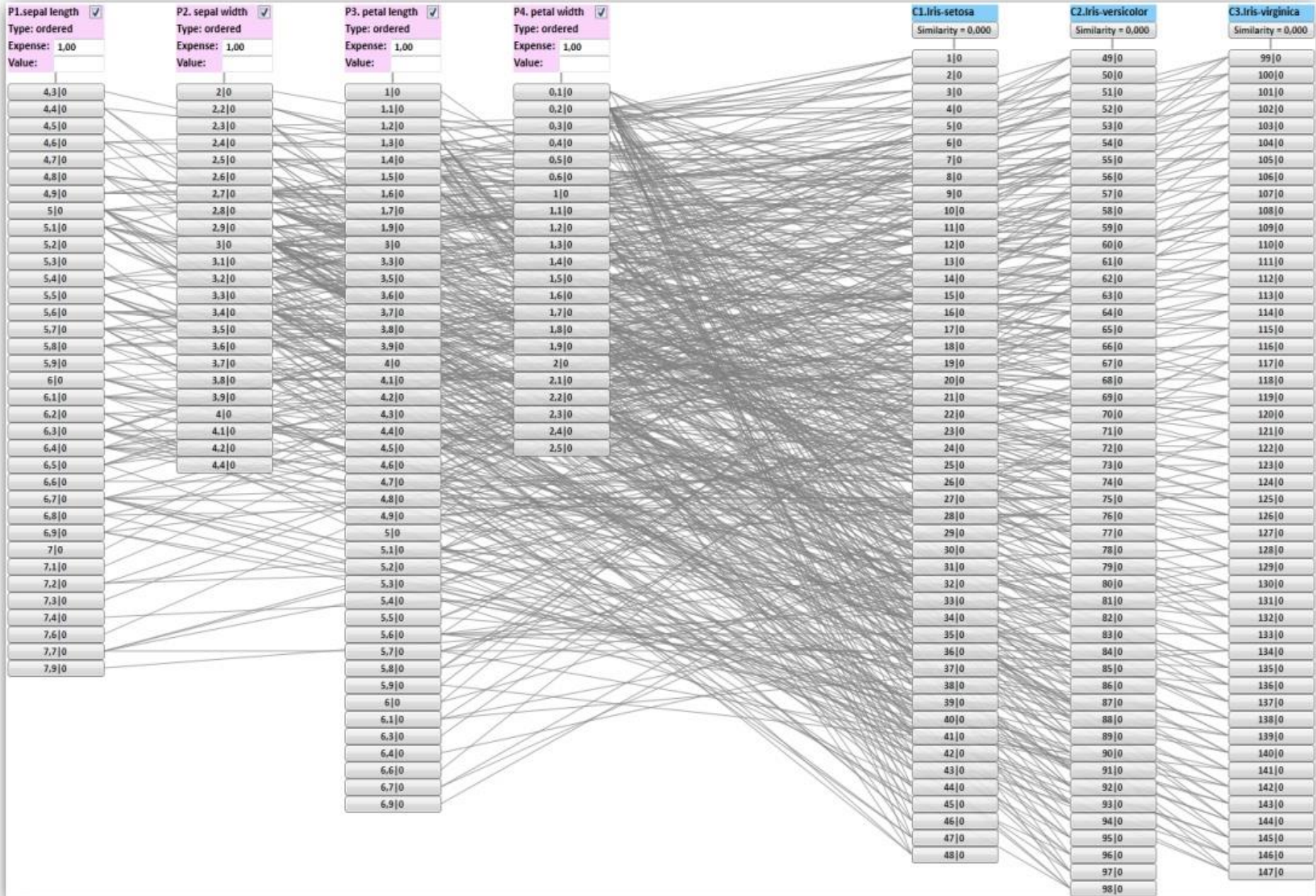


# AANG

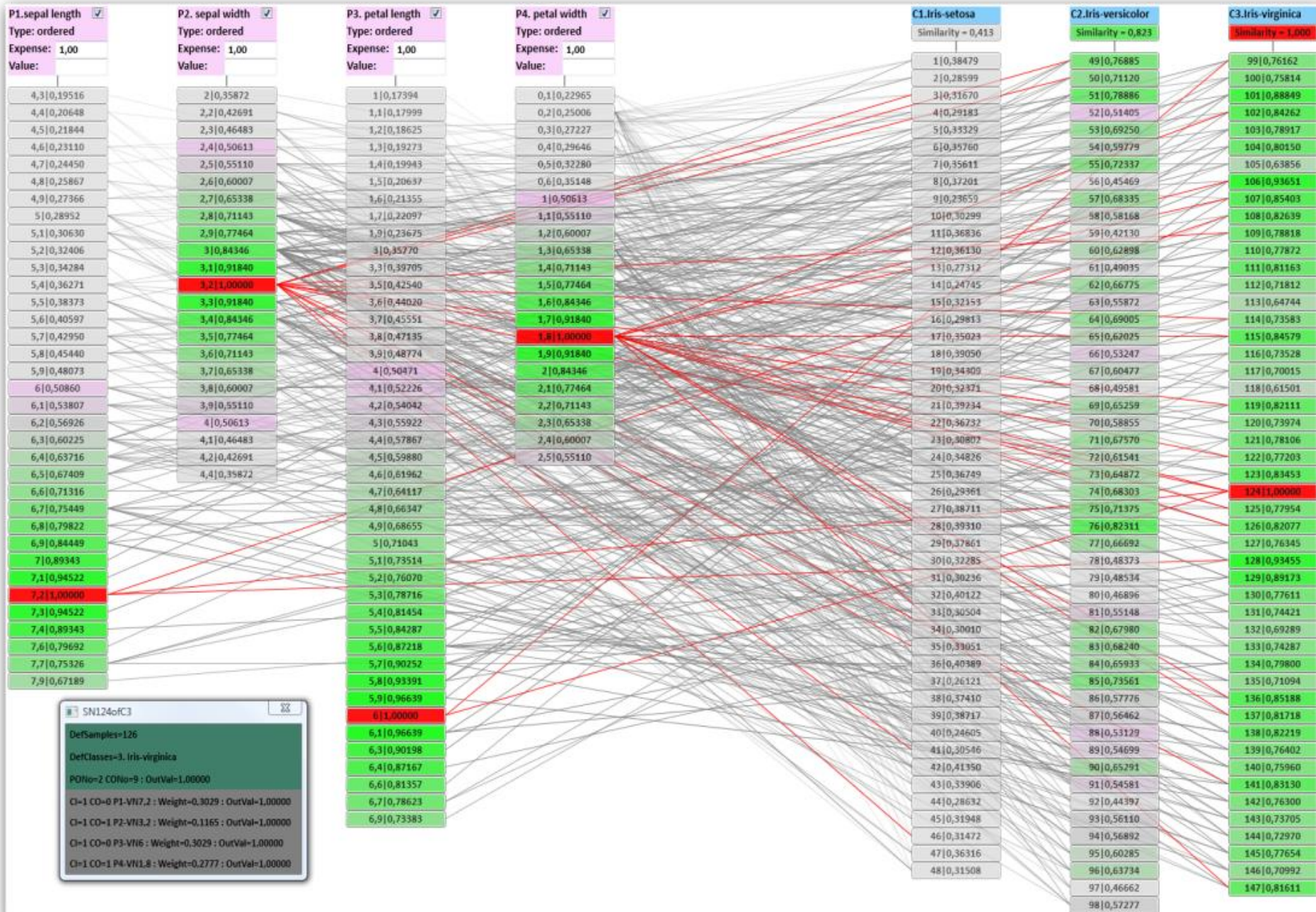
# ASONN



# Struktura AGDS i AANG dla całego zbioru Irys z ML Repository



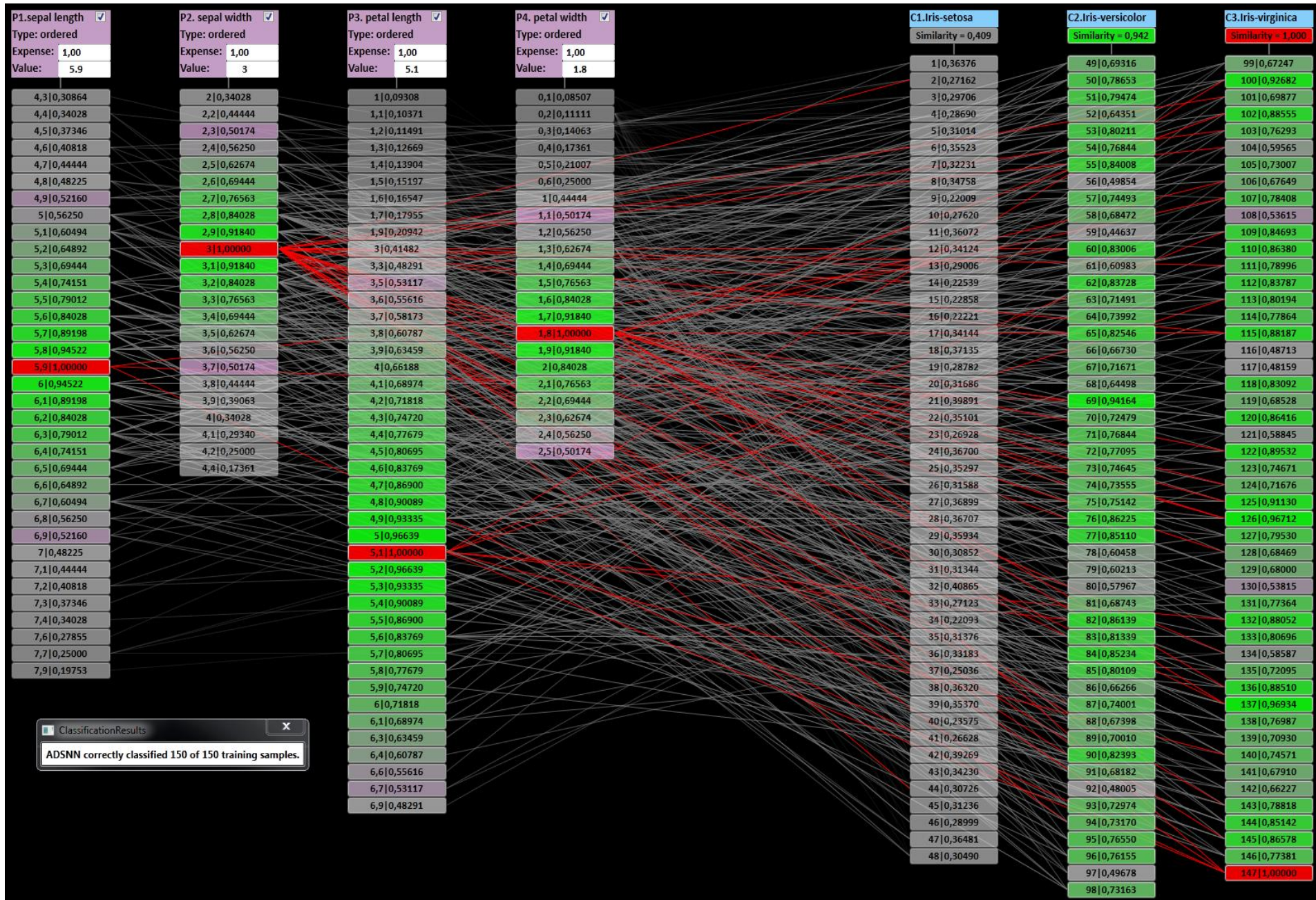
# INFORMACYJNA SIŁA ASOCJACYJNYCH POŁĄCZEŃ



```

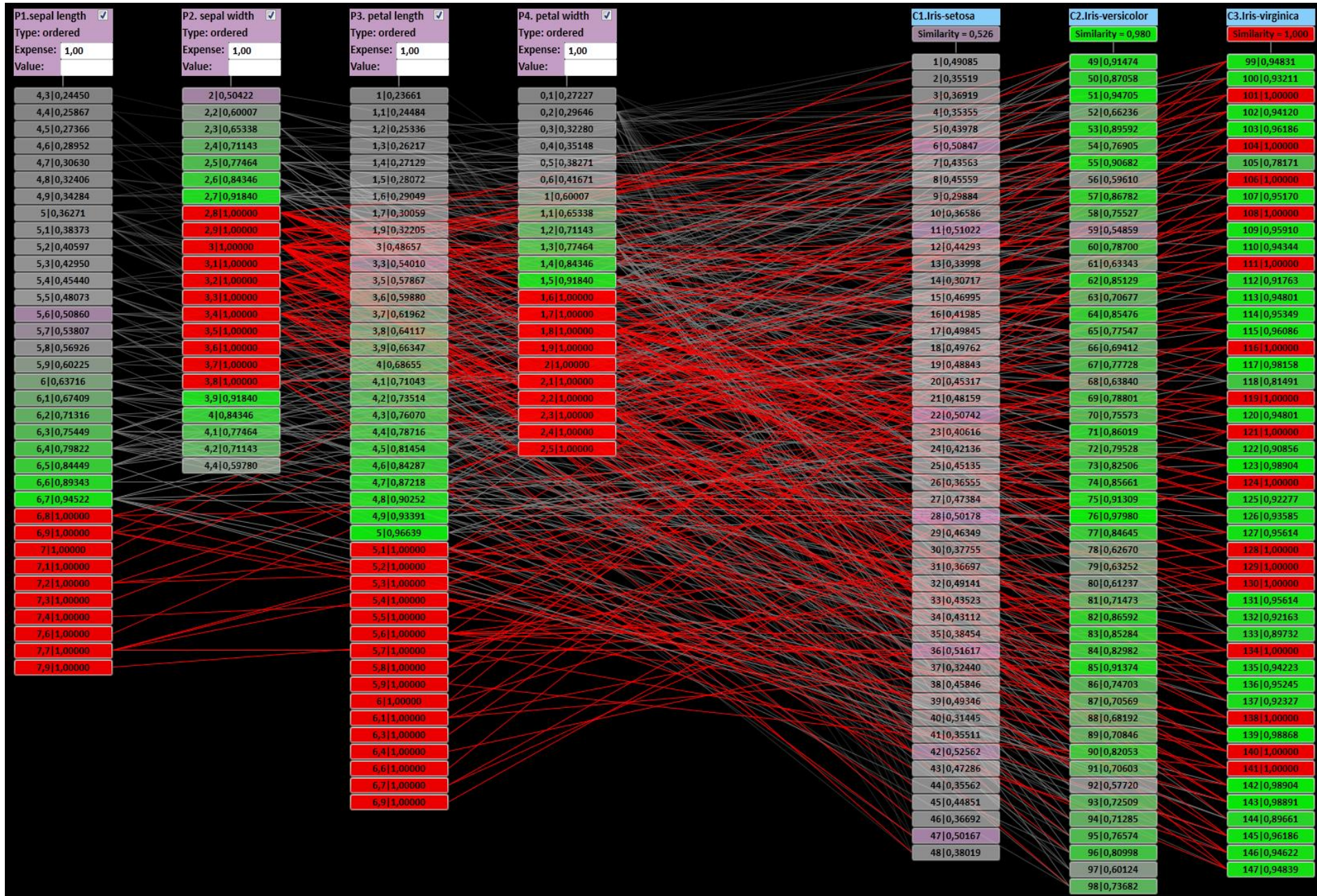
SN124ofC3
DefSamples=126
DefClasses=3. iris-virginica
PDNo=2 CONo=9 ; OutVal=1,00000
CI=1 CO=0 P1-VN17.2 : Weight=0,3029 ; OutVal=1,00000
CI=1 CO=1 P2-VN13.2 : Weight=0,1165 ; OutVal=1,00000
CI=1 CO=0 P3-VN6 : Weight=0,3029 ; OutVal=1,00000
CI=1 CO=1 P4-VN1.8 : Weight=0,2777 ; OutVal=1,00000
    
```

# AANG – Aktywny Asocjacyjny Graf Neuronowy dla zbioru Iris



ClassificationResults  
 ADSNN correctly classified 150 of 150 training samples.

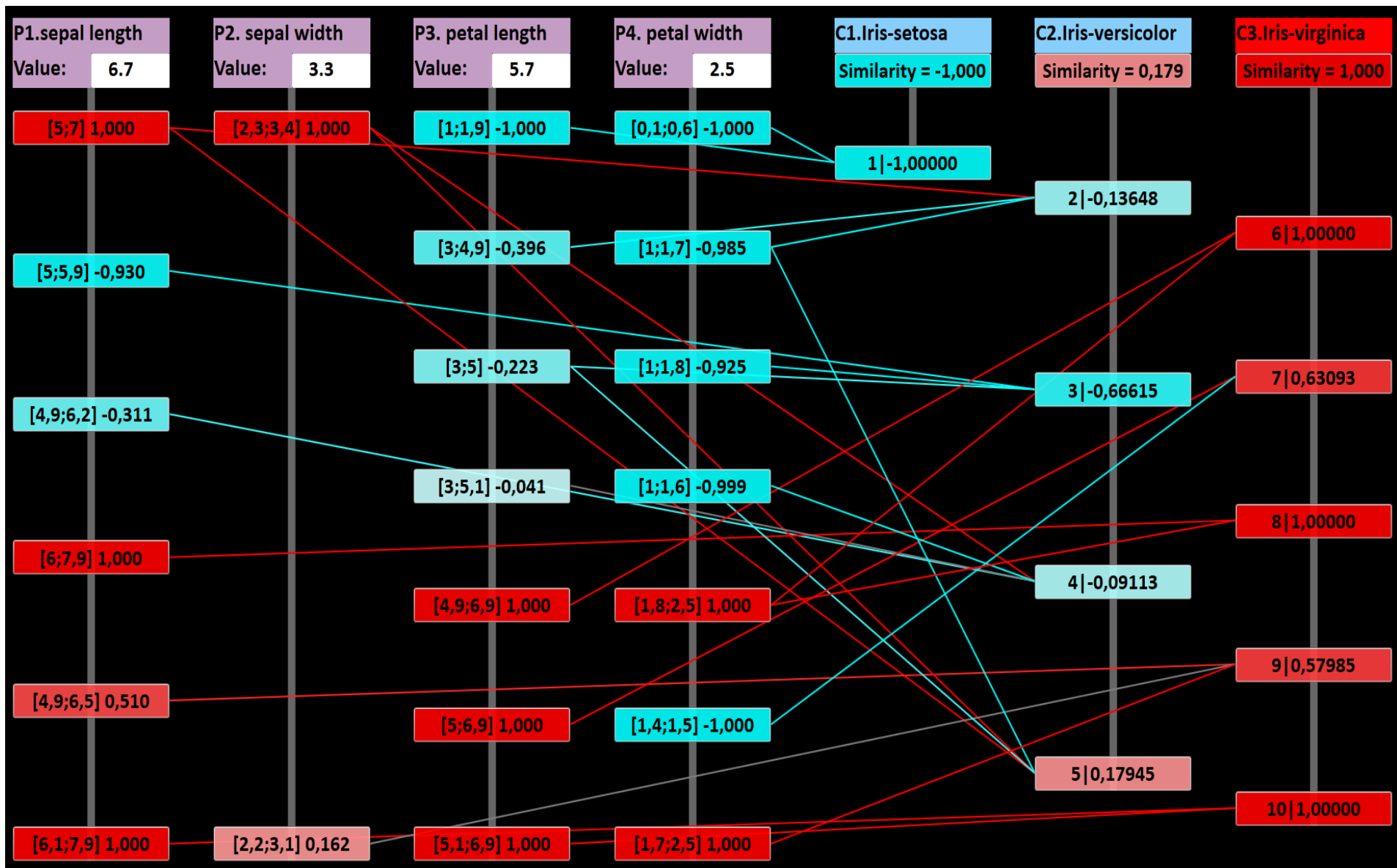
# Określenie dyskryminatywnych kombinacji przedziałów wartości dla poszczególnych atrybutów oraz klas



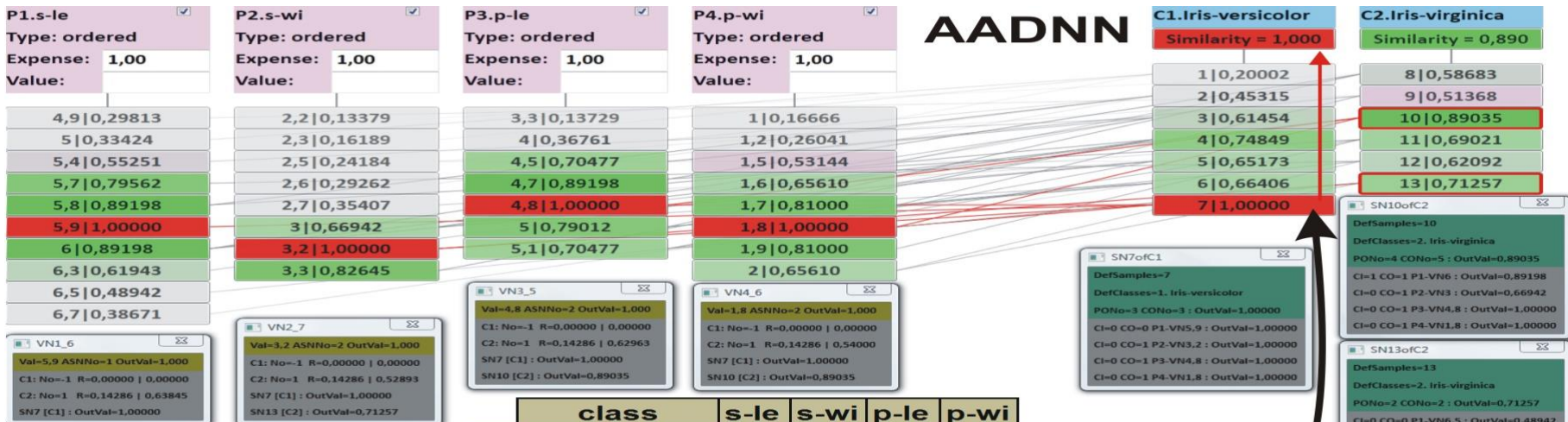


# ASONN – Associative Self-Optimizing Neural Network

Określając najbardziej dyskryminatywne kombinacje przedziałów i podzbiorów wartości dla poszczególnych atrybutów można uprościć klasyfikator do postaci:



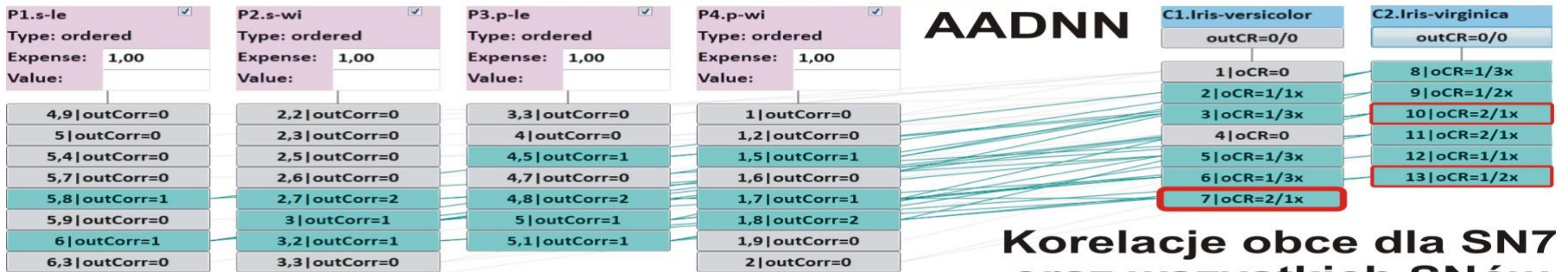
# KORELACJE UTRUDNIAJĄCE DYSKRYMINACJĘ



wyznacz korelacje obce dla SN7 = P7

Skorelowane obce wzorce P10 i P13 z wzorcem P7

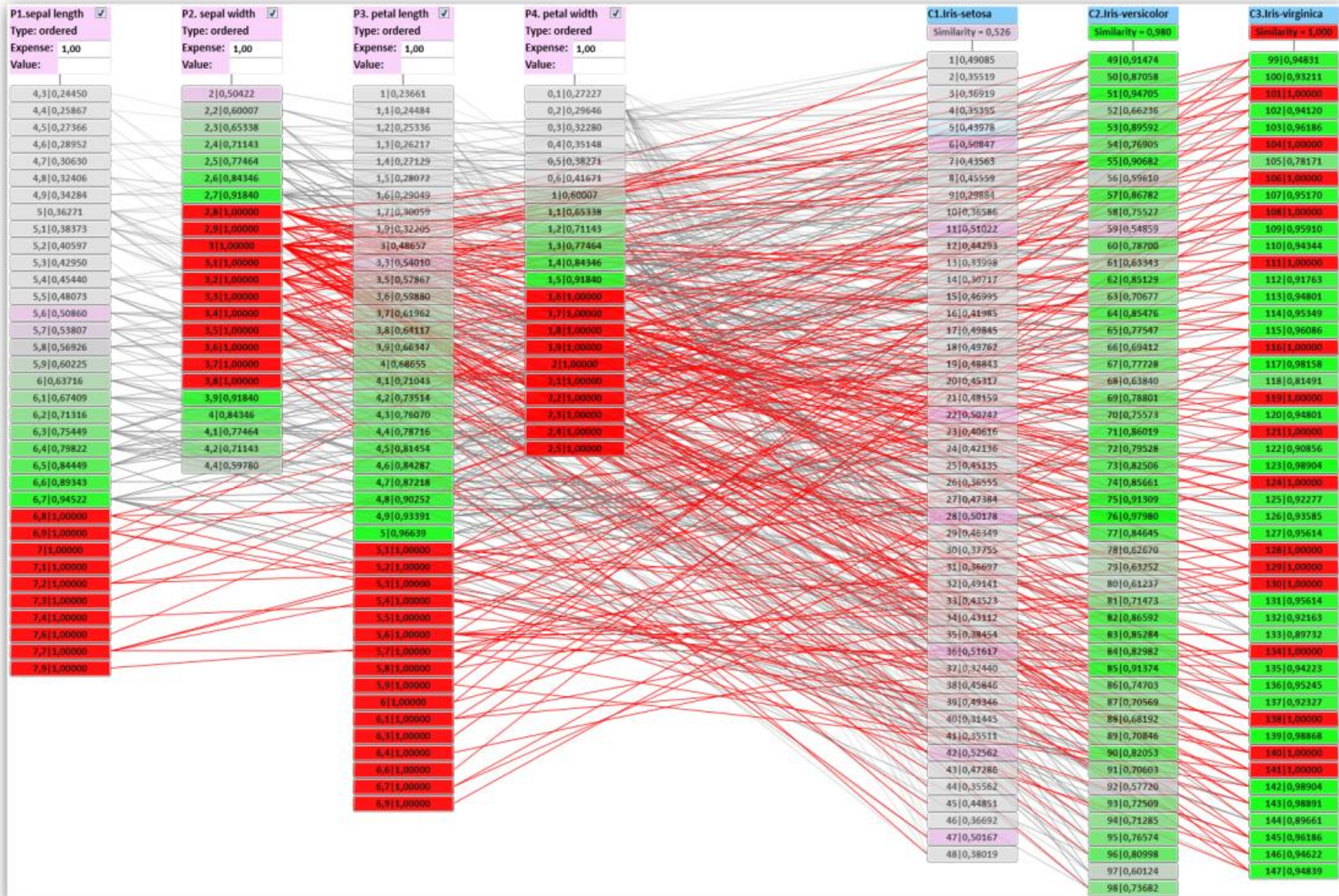
	class	s-le	s-wi	p-le	p-wi
1	Iris-versicolor	5,0	2,3	3,3	1,0
2	Iris-versicolor	5,8	2,6	4,0	1,2
3	Iris-versicolor	5,4	3,0	4,5	1,5
4	Iris-versicolor	6,3	3,3	4,7	1,6
5	Iris-versicolor	6,0	2,7	5,1	1,6
6	Iris-versicolor	6,7	3,0	5,0	1,7
7	Iris-versicolor	5,9	3,2	4,8	1,8
8	Iris-virginica	6,0	2,2	5,0	1,5
9	Iris-virginica	4,9	2,5	4,5	1,7
10	Iris-virginica	6,0	3,0	4,8	1,8
11	Iris-virginica	5,8	2,7	5,1	1,9
12	Iris-virginica	5,7	2,5	5,0	2,0
13	Iris-virginica	6,5	3,2	5,1	2,0



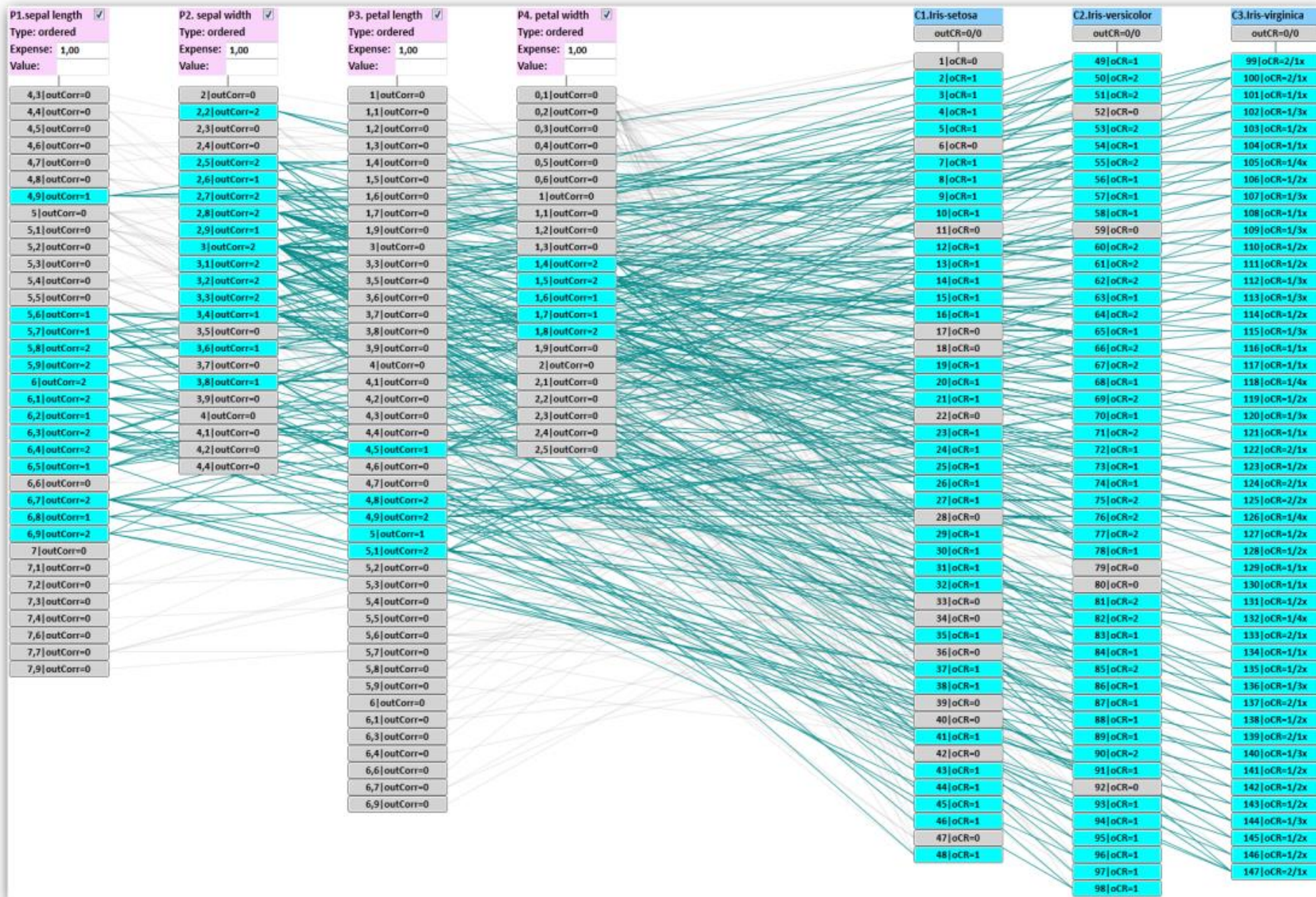
Korelacje obce dla SN7 oraz wszystkich SNów

Skorelowane VNy dla wzajemnie obcych SNów

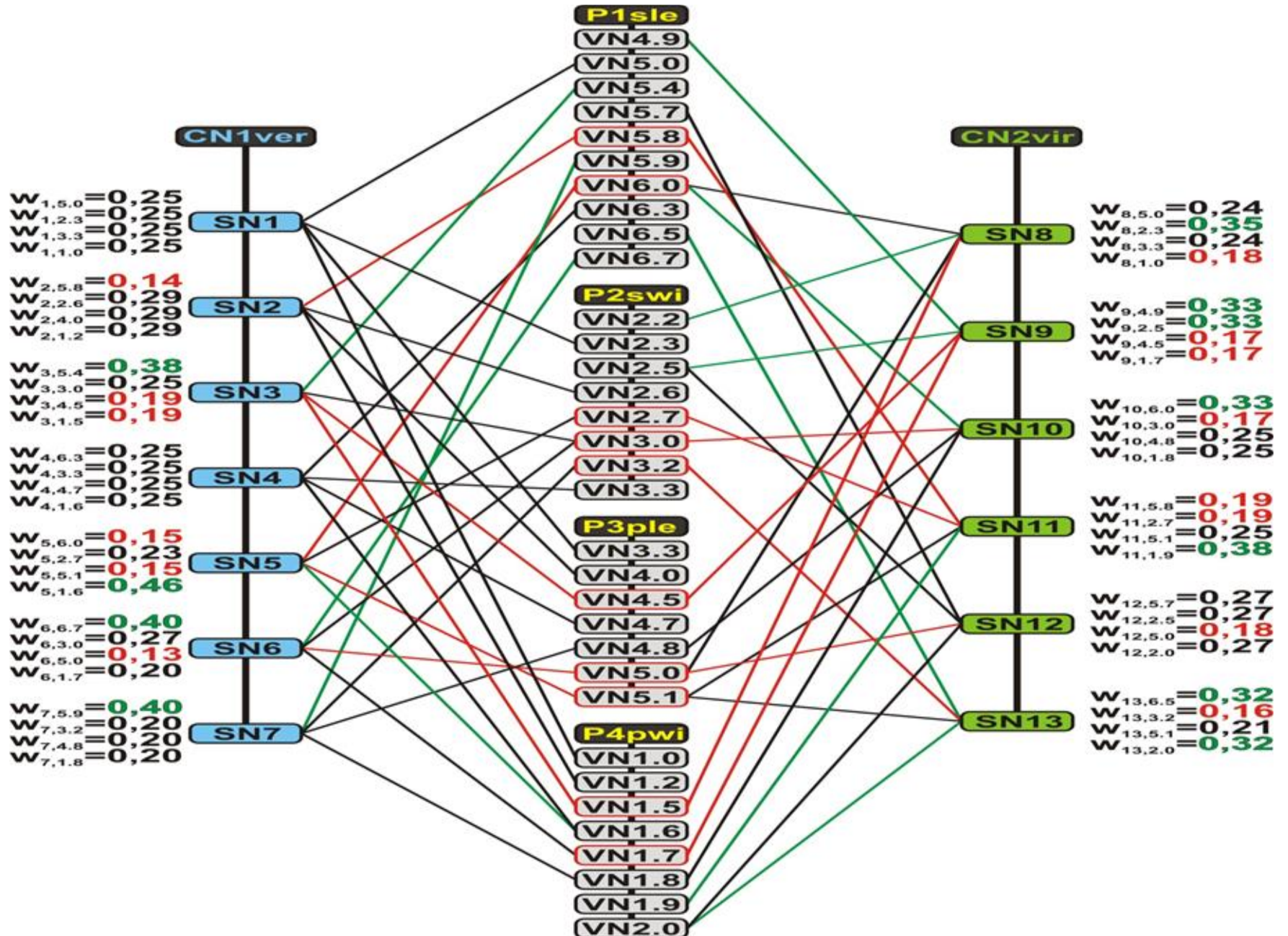
# MOŻLIWOŚĆ DYSKRYMINACJI CAŁYCH GRUP WZORCÓW



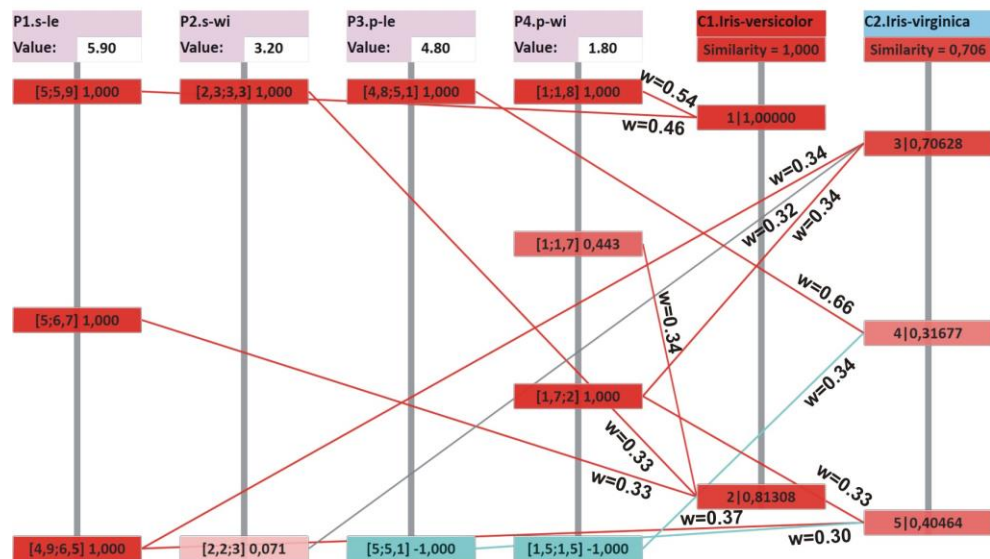
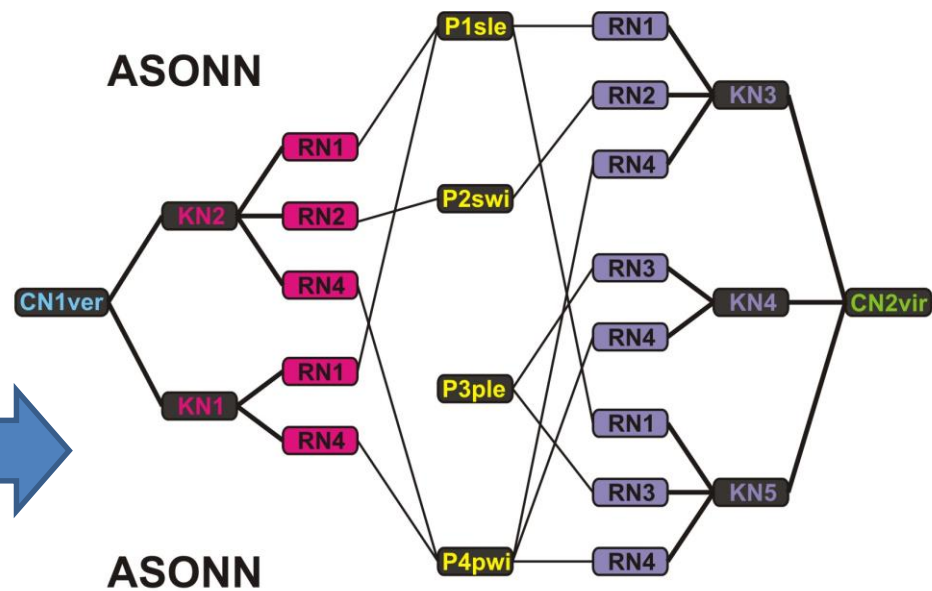
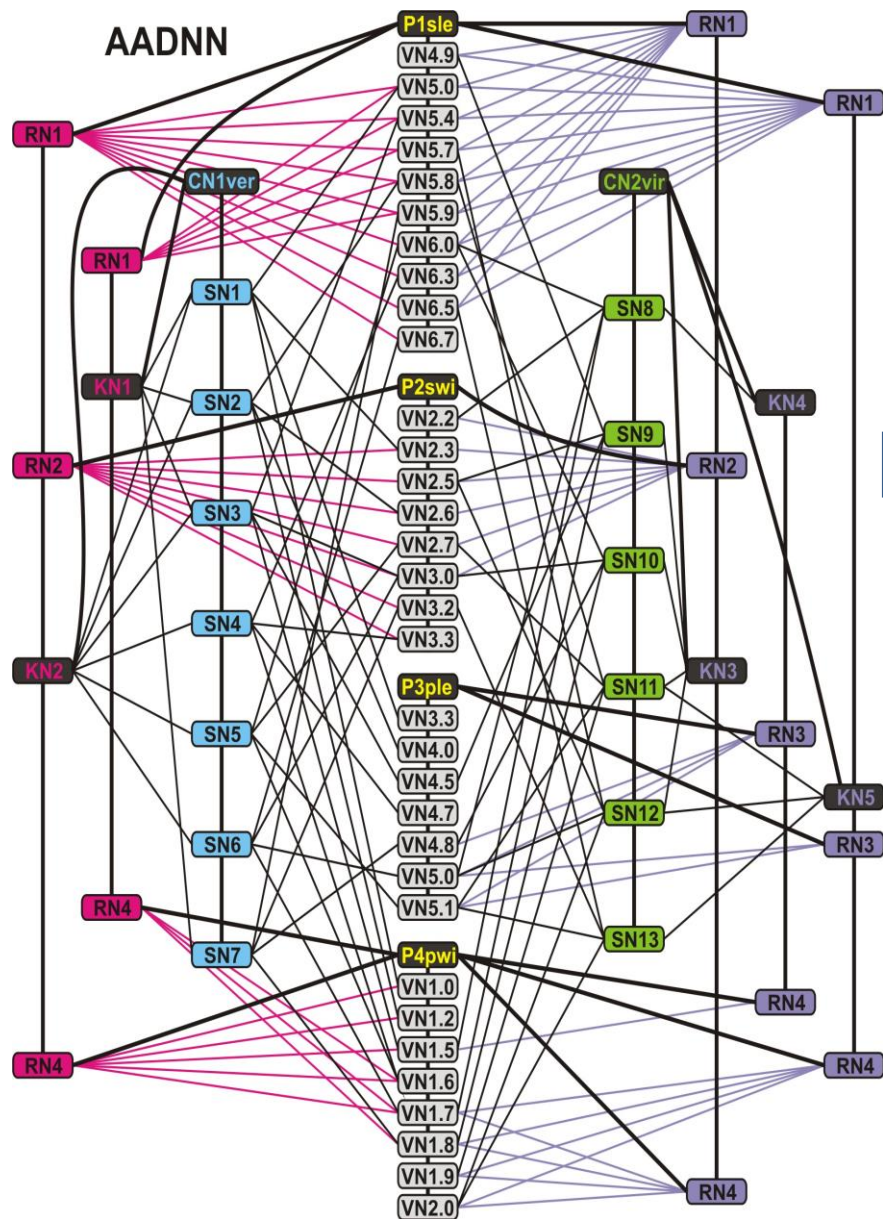
# KORELACJE POMIĘDZY KLASAMI (3 z 1. i 2.)



# WAGI ZALEŻNE OD ILOŚCI KORELACJI Z NEURONAMI KLAS



# ASOCJACYJNY KLASYFIKATOR ASONN dla Irysów



# Możliwość reprezentacji wiedzy



**Wiedza** pozwala nam na:

- ✓ **Zapamiętanie** obiektów, ich klas, faktów, reguł i algorytmów.
- ✓ **Skonsolidowanie** wielu faktów i reguł wg ich podobieństwa.
- ✓ **Skojarzenie** obiektów, faktów i reguł z kontekstem ich występowania.
- ✓ **Wywoływanie** faktów i reguł wykorzystując kontekst oraz skojarzenia.
- ✓ **Uogólnianie** obiektów, faktów, reguł itp.
- ✓ **Kreatywność** powstającą na bazie nauczonych obiektów, faktów i reguł.

**Obiekty, fakty i reguły** mogą być skojarzone i wywoływane dzięki:

- ✓ **Podobieństwom** danych, które je definiują.
- ✓ **Następstwu** danych, które je definiują i występowały po sobie.

**Wiedza** jest aktywną agregacją danych, faktów i reguł, które mogą być wywołane i uogólnione biorąc pod uwagę kontekst ich wywołania.

**Wiedza** może być reprezentowana i ewaluowana w reaktywnych systemach skojarzeniowych, które eliminują redundantne reprezentacje obiektów, gdyż to umożliwia powiązanie ze sobą ich podobnych egzemplarzy.

# Czym nie jest wiedza?



- ✓ **Nie jest zbiorem** faktów, reguł, obiektów i ich klas, lecz wykorzystuje je i **tworzy ich aktywne reprezentacje neuronowe**.
- ✓ **Nie jest rodzajem pamięci komputerowej ani bazą danych**, lecz jest **utrwalona** i szybko dostępna dzięki możliwości **wywoływania skojarzeń** i **mechanizmom kojarzenia**.
- ✓ **Nie pamięta wszystkiego szczegółowo**, lecz **tworzy reprezentacje (np. klasy)** najistotniejszych i najczęściej powtarzanych subkombinacji danych oraz ich sekwencji, które są zagregowane ze względu na podobieństwa oraz skonsolidowane w aktywnej strukturze neuronów.
- ✓ **Nie może być zbierana** tak jak dane, fakty czy reguły, lecz **jest stopniowo formowana** na ich podstawie w reaktywnych neuronowych systemach skojarzeniowych.
- ✓ **Nie może być w łatwy sposób przetransferowana** z jednego asocjacyjnego systemu do drugiego, lecz tylko wynikające z niej informacje, fakty i reguły mogą być przekazywane oraz mogą formować u odbiorcy podobną, aczkolwiek zwykle nie identyczną wiedzę. Ponadto w procesie komunikacji **może dochodzić do nieporozumień**, ze względu na inną wiedzę, inne doświadczenia lub inną reprezentację obiektów, faktów i reguł w systemach skojarzeniowych nadawcy i odbiorcy, wywołujące inne skojarzenia - **indywidualne pojmowanie**.
- ✓ **Nie jest ograniczona** do przekazanych obiektów, faktów i reguł, lecz **może tworzyć nowe** dzięki **sposobowi reprezentacji** i **skojarzeniowym mechanizmom uogólniania oraz kreatywności**.
- ✓ **Nie polega na prostej kompresji** obiektów, faktów i reguł, a następnie ich wyszukiwaniu, lecz na ich **asocjacji, agregacji i konsolidacji**, które odpowiednio łączą je ze sobą umożliwiając szybkie odszukiwanie zależności pomiędzy nimi lub wywoływanie jednych przez drugie.



# Co to znaczy kojarzyć i wywoływać skojarzenia?



**Kojarzyć** oznacza na poziomie systemów skojarzeniowych:

- ✓ **Konsolidować ze sobą reprezentacje (obiektów, faktów, reguł)** poprzez tworzenie specjalnych połączeń, które odwzorowują różne **relacje** pomiędzy nimi, np. **podobieństwo** i **następstwo** lub je **definiują**.  
W zależności od rodzaju i możliwości systemu skojarzeniowego **reprezentacje** mogą być tworzone z **różną dokładnością**.
- ✓ **Agregować reprezentacje obiektów podobnych** poprzez **usuwanie duplikatów w reprezentacji** lub **nie dopuszczanie do ich powstawania**, gdyż w odwrotnym przypadku wpływałoby to na obniżenie jakości i rozległości wywoływanych skojarzeń. Możliwe jest jednak tworzenie reprezentacji, które grupują (obiekty, fakty, reguły) w różny sposób.

**Wywoływać skojarzenia** oznacza:

- ✓ **Aktywować reprezentacje klas obiektów, faktów, reguł, działań lub ich uogólnień przez inne obiekty, fakty, reguły lub ich elementy** za pośrednictwem połączeń pomiędzy ich skonsolidowanymi reprezentacjami.  
Aktywowane reprezentacje mogą wywoływać pewne **reakcje systemu** lub prowadzić do **tworzenia się nowych** lub **wzmocnienia istniejących skojarzeń**.

# NEURONOWE SZTUCZNE SYSTEMY SKOJRZENIOWE

**Neuronowe sztuczne systemy skojarzeniowe** umożliwiają:

- ✓ **Reprezentację** różnych obiektów, faktów i reguł w zunifikowanej postaci – **kombinacji danych** – wykorzystując neurony.
- ✓ **Tworzenie klas** reprezentujących obiekty na podstawie ich najbardziej reprezentatywnych i powtarzalnych cech oraz ich subkombinacji.
- ✓ **Warunkowe i selektywne aktywowanie neuronów** w zależności od kontekstu wyznaczonego przez wcześniej aktywowane neurony i receptory sensoryczne.
- ✓ **Wykorzystanie kontekstu** wcześniej aktywowanych neuronów w zależności od czasu, jaki upłynął od ich poprzednich aktywacji lub pobudzenia.
- ✓ **Automatyczną konsolidację i agregację** podobnych i różnych obiektów, faktów i reguł na podstawie ich podobieństw i następstwa wystąpień.
- ✓ **Automatyczne kojarzenie** obiektów, faktów i reguł z kontekstem ich wystąpień oraz z uformowanymi już reprezentacjami innych obiektów.
- ✓ **Wywoływanie sztucznych skojarzeń** poprzez kombinacje obiektów, faktów, reguł albo subkombinacje ich cech lub ich sekwencji (np. pytań).
- ✓ **Uogólnianie** na poziomie reprezentacji obiektów, jak również ich sekwencji.
- ✓ **Kreatywność** umożliwiającą powstawanie nowych reakcji systemu poprzez wywoływanie nowych sekwencji i podgrafów skojarzeń.

# KONSTRUOWANIE ASOCJACYJNYCH GRAFÓW WIEDZY dla sekwencji danych lub reprezentacji ich kombinacji

TRAINING SEQUENCES and their frequency of repetition in the training sequence set

1x

S1 E1 E2 E3

5x

S2 E4 E5 E2 E6

1x

S3 E7 E5 E2 E8

3x

S4 E7 E9 E8

2x

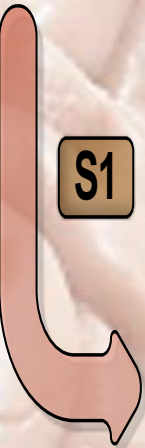
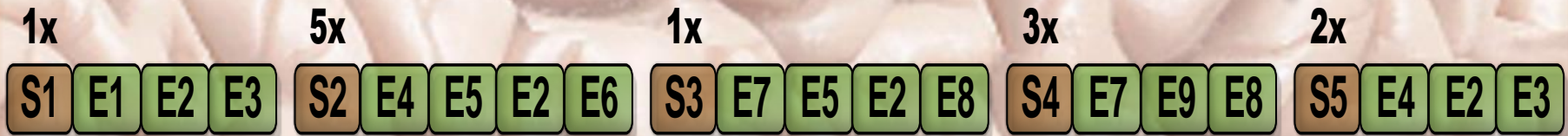
S5 E4 E2 E3

(0)

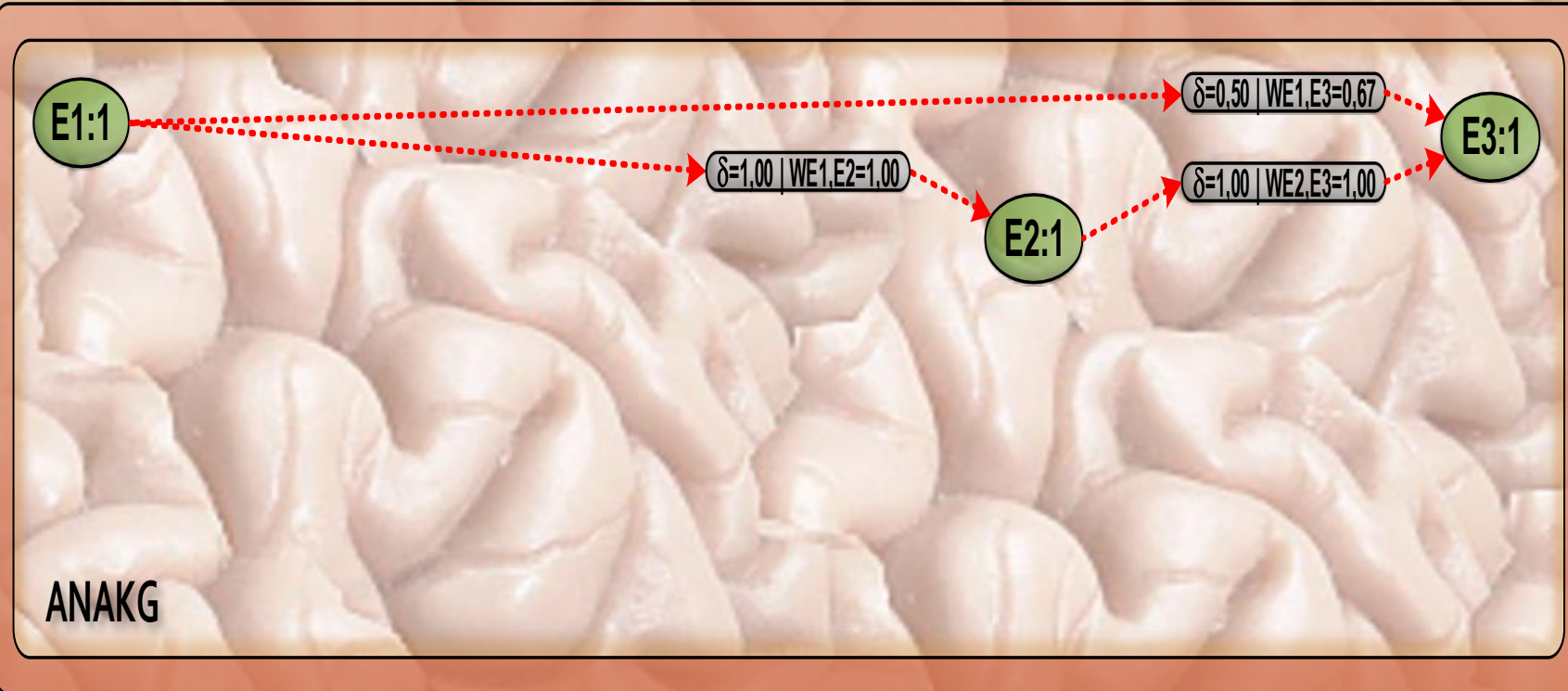
ANAKG

# KONSTRUOWANIE ASOCJACYJNYCH GRAFÓW WIEDZY dla sekwencji danych lub reprezentacji ich kombinacji

TRAINING SEQUENCES and their frequency of repetition in the training sequence set

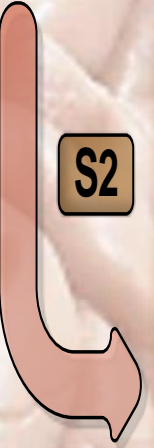
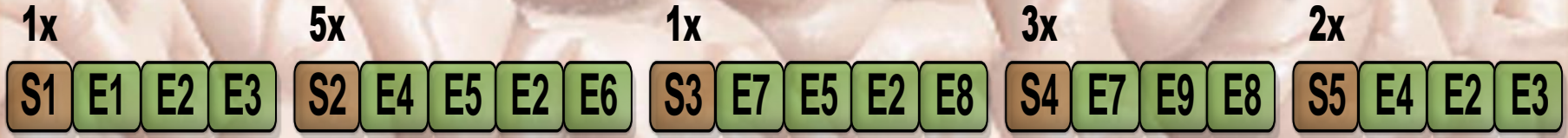


(1)

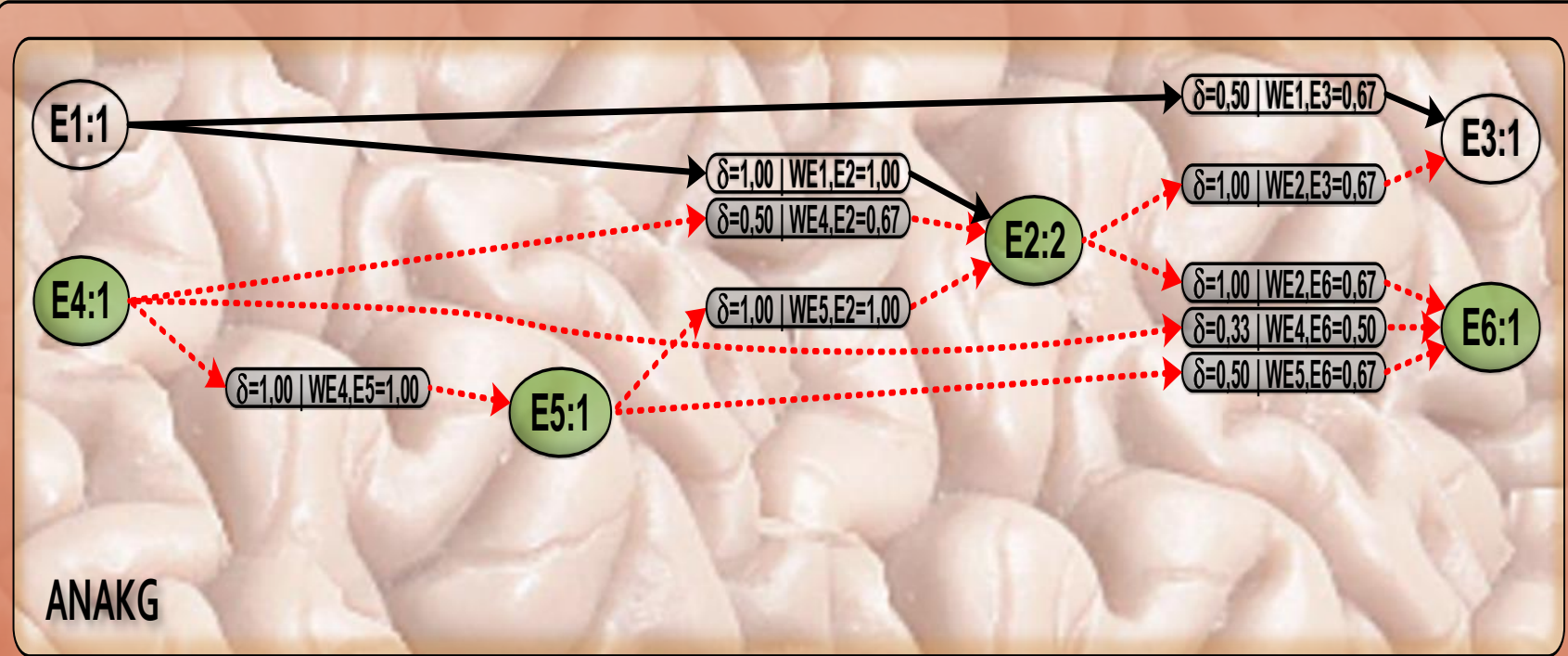


# KONSTRUOWANIE ASOCJACYJNYCH GRAFÓW WIEDZY dla sekwencji danych lub reprezentacji ich kombinacji

TRAINING SEQUENCES and their frequency of repetition in the training sequence set

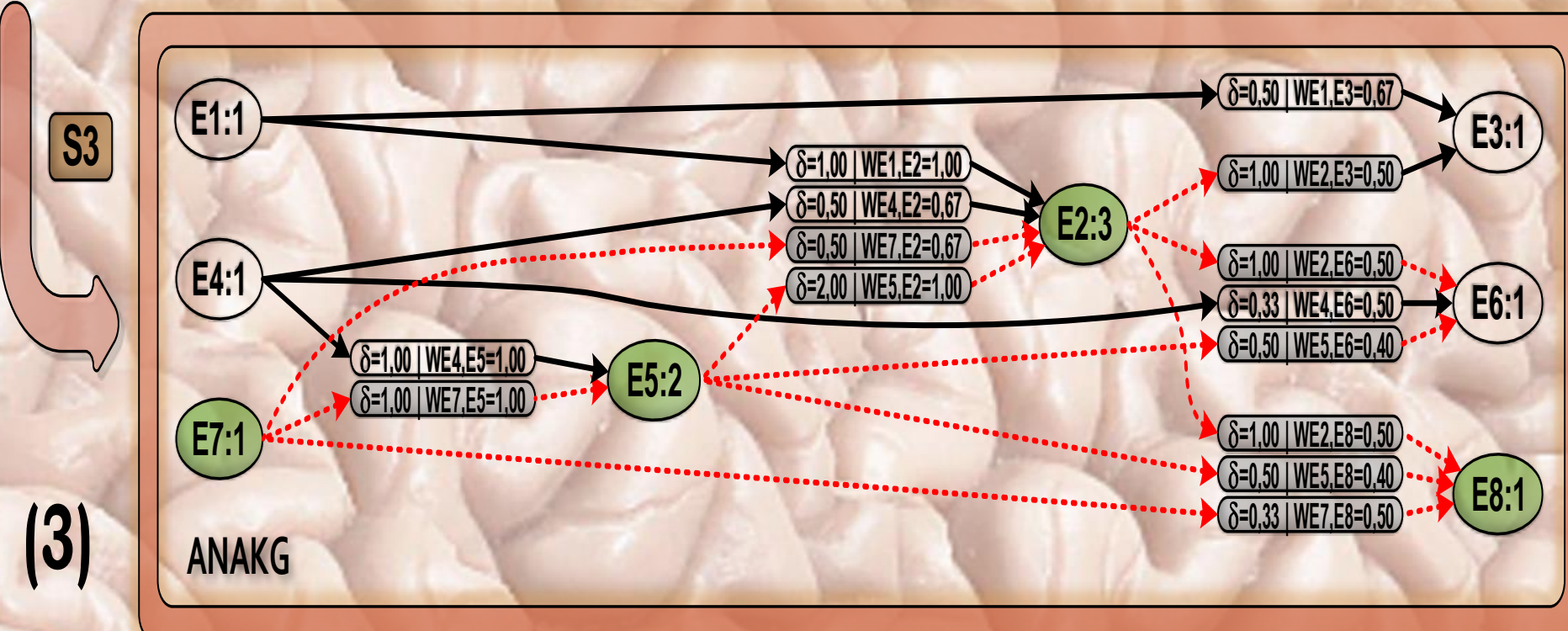
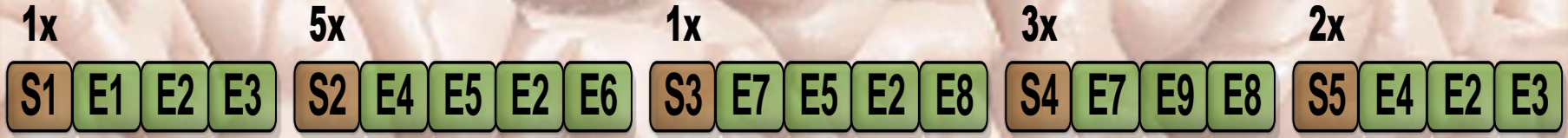


(2)



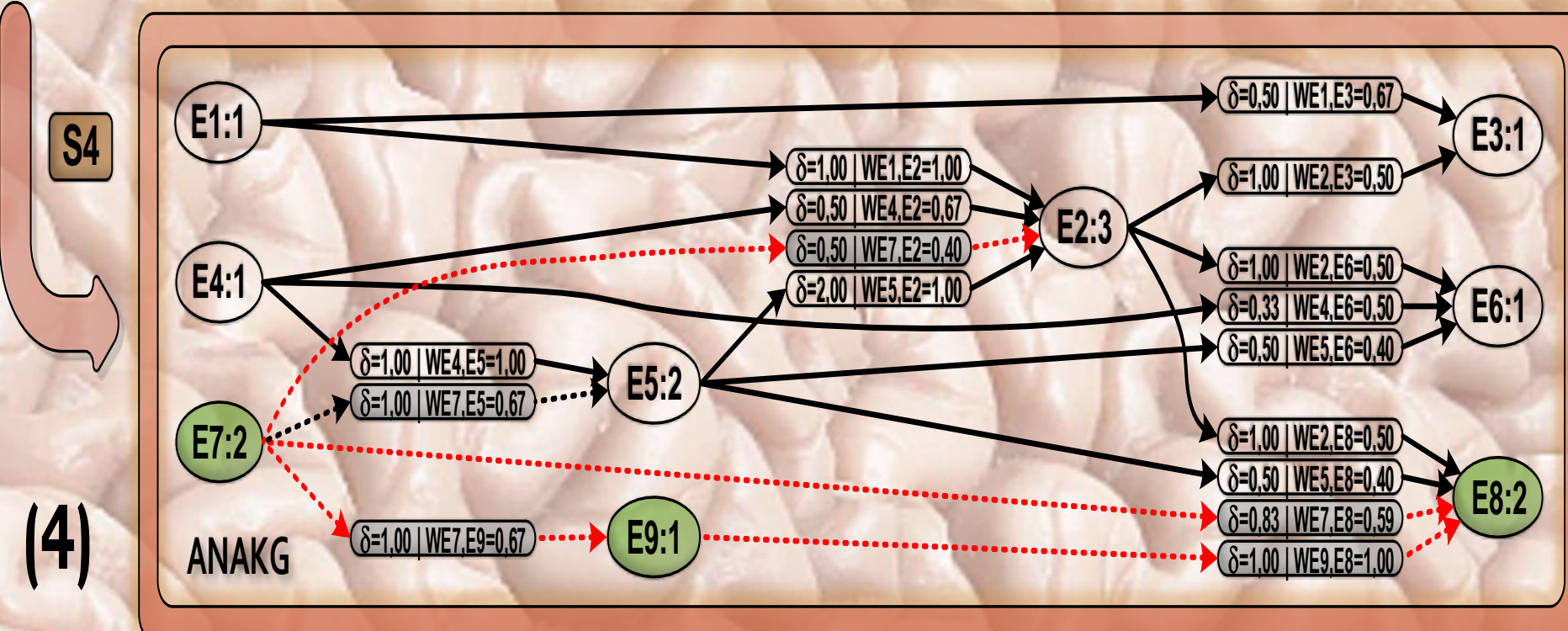
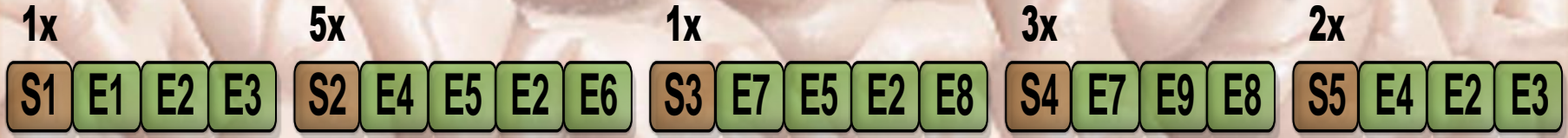
# KONSTRUOWANIE ASOCJACYJNYCH GRAFÓW WIEDZY dla sekwencji danych lub reprezentacji ich kombinacji

TRAINING SEQUENCES and their frequency of repetition in the training sequence set



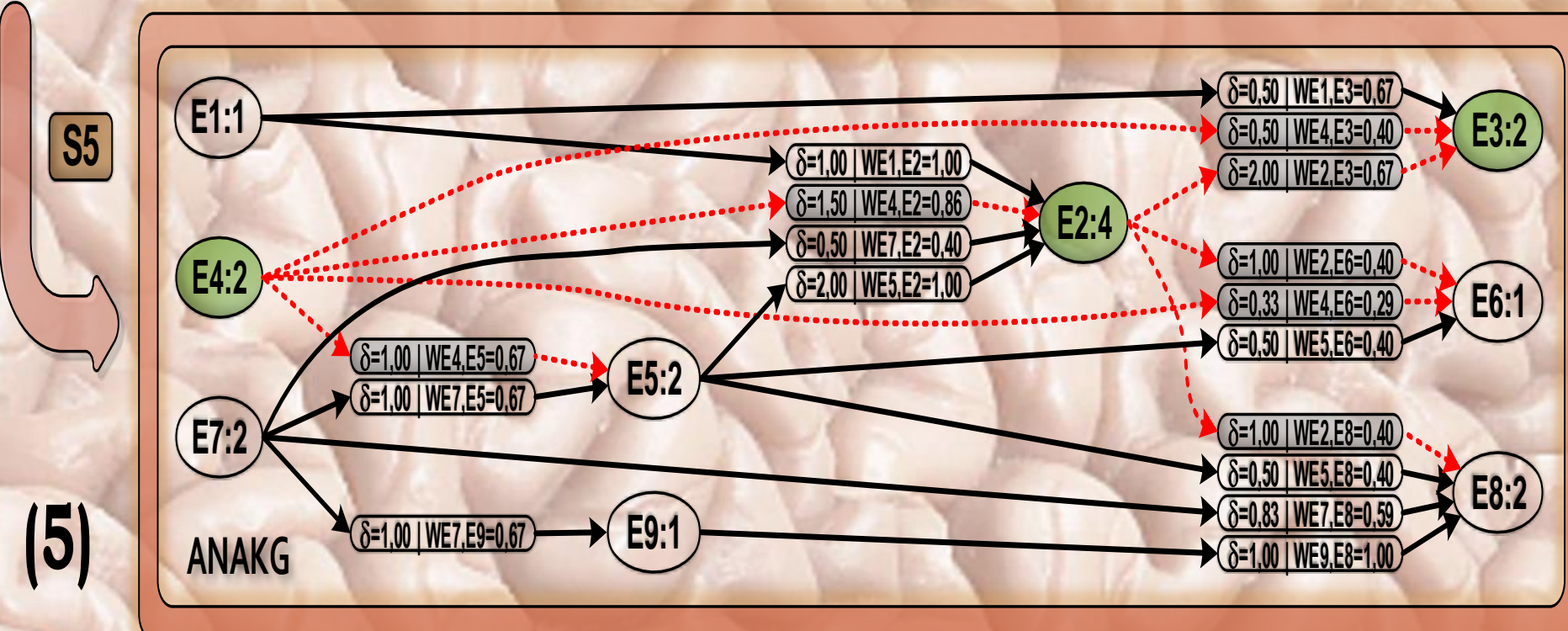
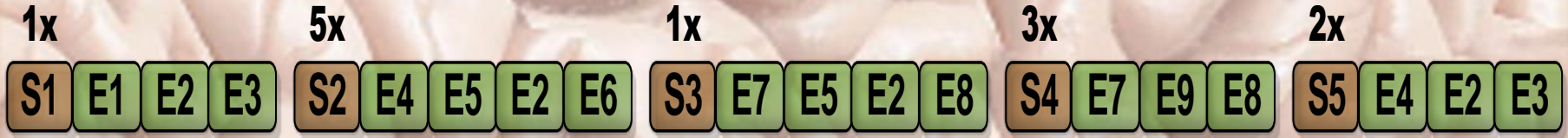
# KONSTRUOWANIE ASOCJACYJNYCH GRAFÓW WIEDZY dla sekwencji danych lub reprezentacji ich kombinacji

TRAINING SEQUENCES and their frequency of repetition in the training sequence set



# KONSTRUOWANIE ASOCJACYJNYCH GRAFÓW WIEDZY dla sekwencji danych lub reprezentacji ich kombinacji

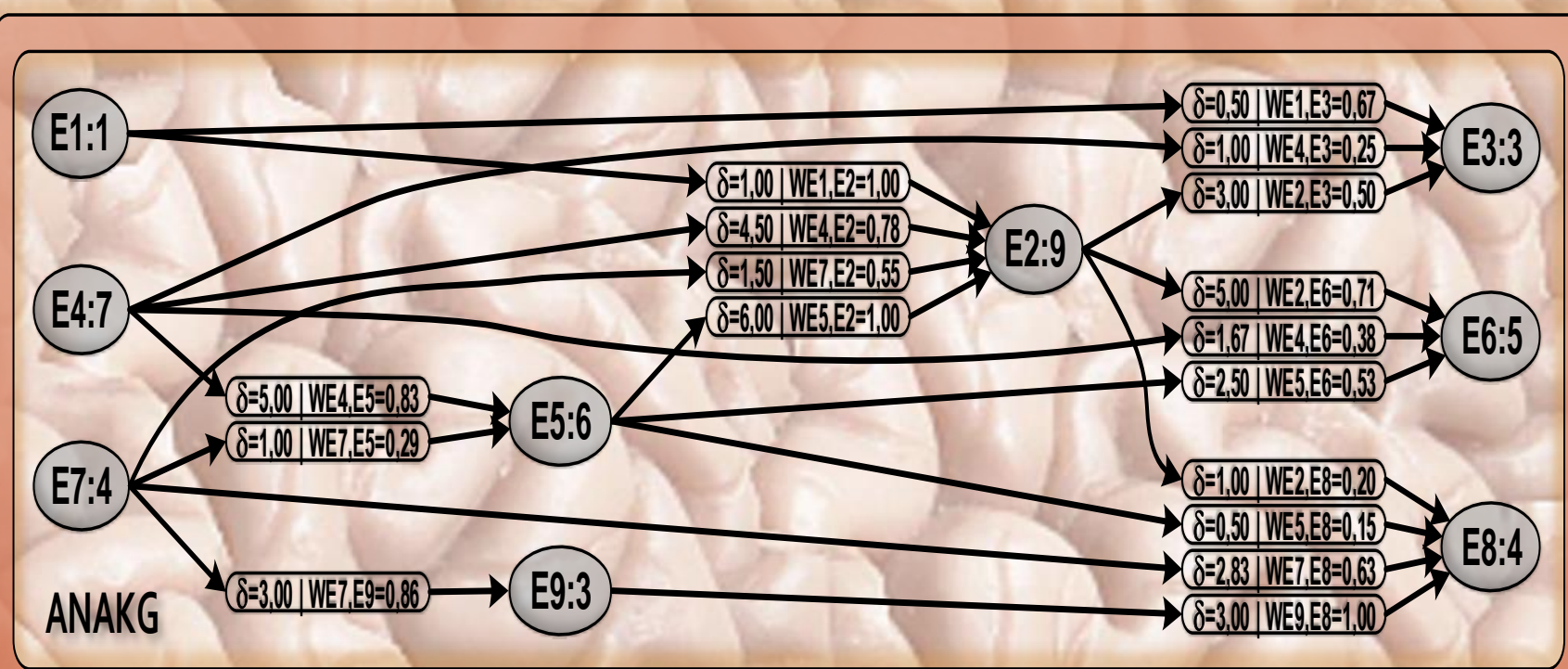
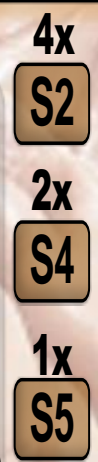
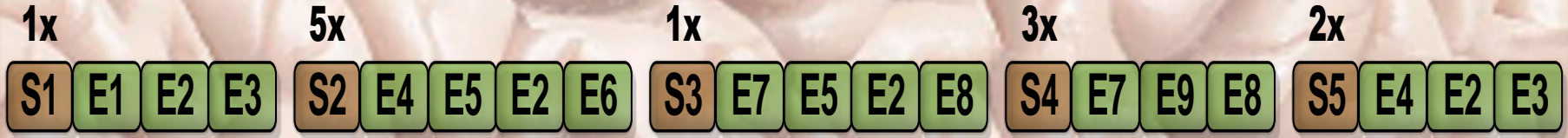
TRAINING SEQUENCES and their frequency of repetition in the training sequence set





# KONSTRUOWANIE ASOCJACYJNYCH GRAFÓW WIEDZY dla sekwencji danych lub reprezentacji ich kombinacji

TRAINING SEQUENCES and their frequency of repetition in the training sequence set

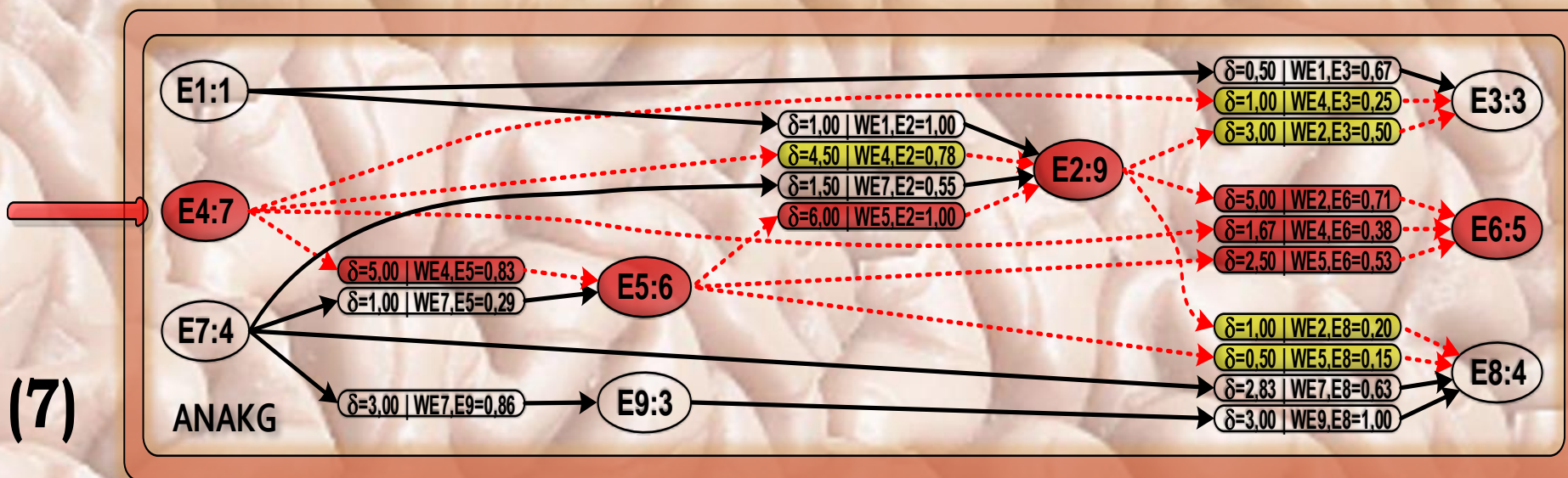
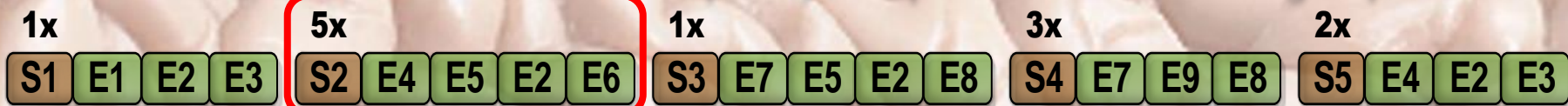


(6)

# EWALUACJA ASOCJACYJNYCH GRAFÓW WIEDZY przez aktywację ich elementów (np. neuronów)

Zewnętrzne pobudzenie neuronu E4 wywołało następującą sekwencję aktywacji neuronów: E4 → E5 → E2 → E6

TRAINING SEQUENCES and their frequency of repetition in the training sequence set

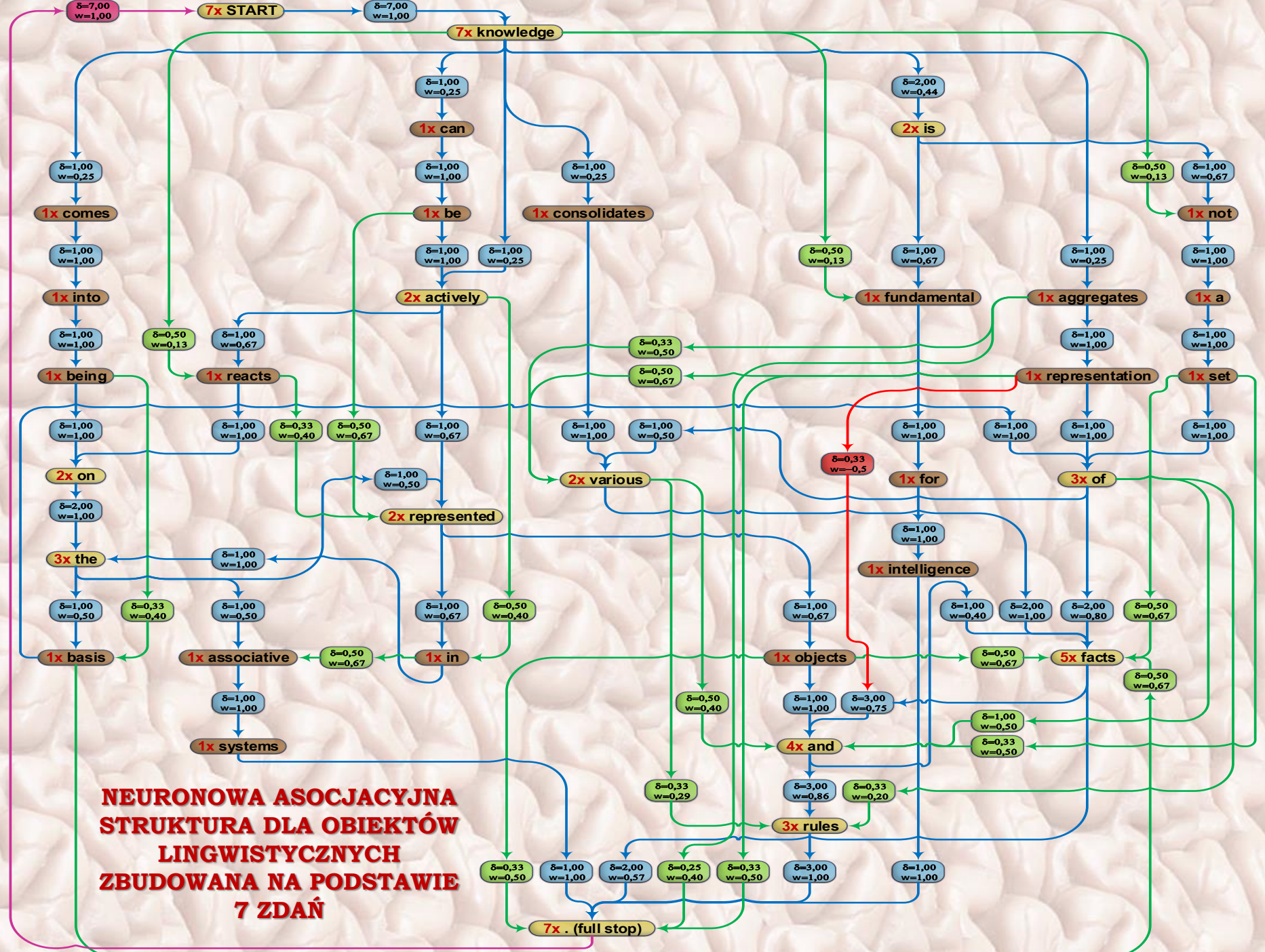


Wywołana sekwencja aktywacji neuronów jest jedną z najczęściej powtarzanych sekwencji uczących:



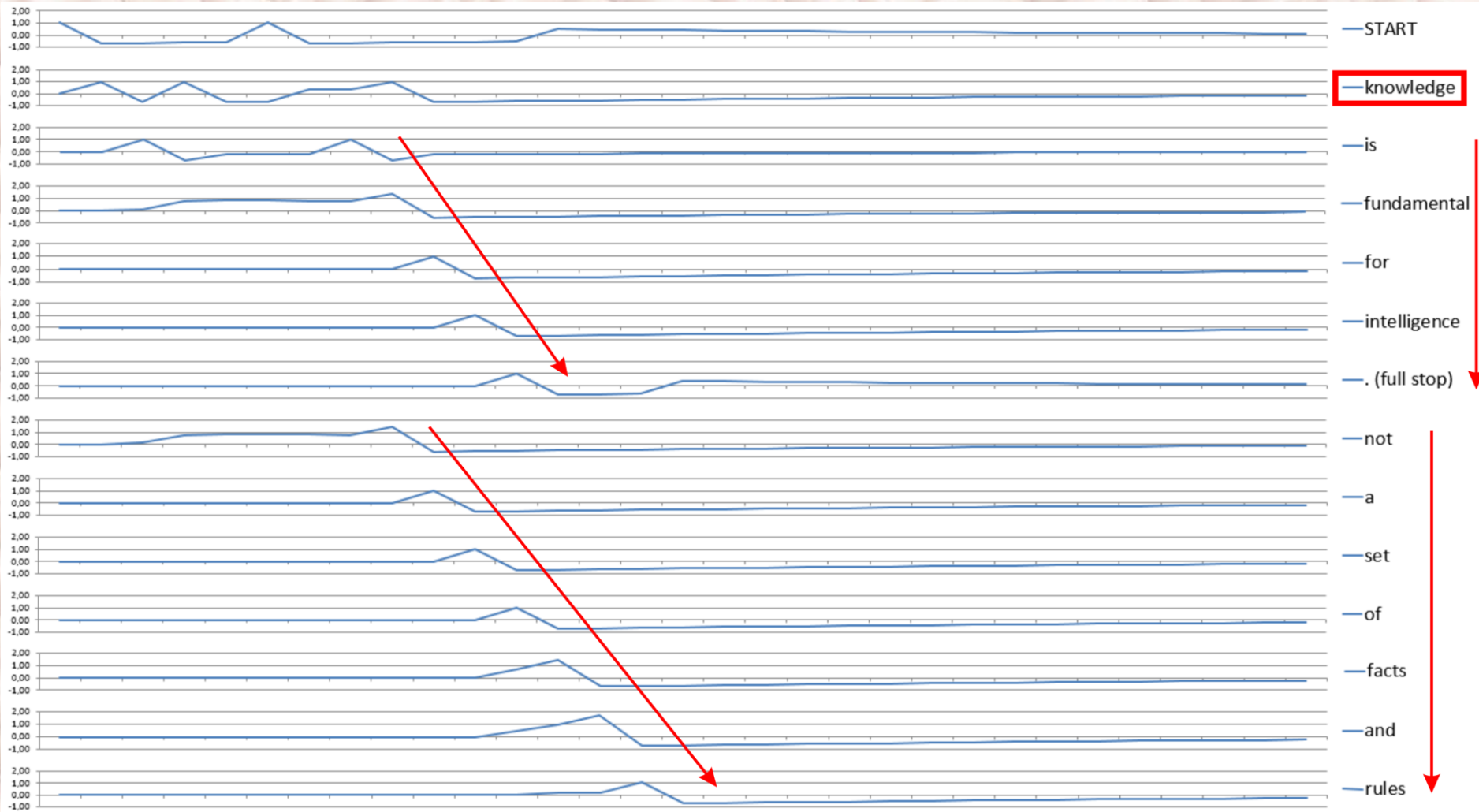
# **Korzyści wynikające ze stosowania ASOCJACYJNYCH GRAFÓW WIEDZY będących częścią SZTUCZNYCH SYSTEMÓW SKOJARZENIOWYCH**

- ✓ **Możliwość formowania wiedzy** w podobny sposób, jak odbywa się to w ludzkim mózgu.
- ✓ Naturalne wykorzystanie **równoległości** w trakcie formowania się wiedzy i jej ewaluacji.
- ✓ **Możliwość automatycznej agregacji, konsolidacji i reprezentacji** danych i ich kombinacji oraz sekwencji, które mogą reprezentować obiekty, reguły, fakty i algorytmy.
- ✓ **Możliwość ewaluacji wiedzy**, uzyskując do niej dostęp poprzez **wywoływanie sztucznych skojarzeń** tak, jak w ludzkim procesach myślenia.
- ✓ **Możliwość automatycznego uogólniania** na poziomie reprezentacji obiektów, jak również ich sekwencji.
- ✓ Osiąganie **reakcji kreatywnych** w przypadku nowych kontekstów, które różnią się od wykorzystanych w trakcie uczenia.



**NEURONOWA ASOCJACYJNA  
STRUKTURA DLA OBIEKTÓW  
LINGWISTYCZNYCH  
ZBUDOWANA NA PODSTAWIE  
7 ZDAŃ**

# Reakcja na pytanie: „What is knowledge?”



**As-neurony** są aktywowane w określonej kolejności dostarczając następujących odpowiedzi:

- **Knowledge** is fundamental for intelligence.
- **Knowledge** is not a set of facts and rules

# PODSUMOWANIE i KONKLUZJE

- ✓ **Wiedza** może być modelowana przy pomocy **neuronowych sztucznych systemów skojarzeniowych**.
- ✓ **Wiedza** formuje się w **plastycznych** strukturach połączeń i parametrach neuronów **systemów skojarzeniowych**.
- ✓ **Sztuczne systemy skojarzeniowe** mogą w trakcie adaptacji wykorzystywać **wzorce i sekwencje uczące**.
- ✓ **Sztuczne systemy skojarzeniowe** wykorzystują **kontekst wcześniejszych pobudzeń i aktywacji neuronów** w trakcie wywoływania skojarzeń i ewaluacji wiedzy.
- ✓ **Neuronowe sztuczne systemy skojarzeniowe** dostarczają szerokie możliwości **wywoływania sztucznych skojarzeń, uogólniania i kreatywności**.

**DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ**

**Proszę o pytania, spostrzeżenia i komentarze**

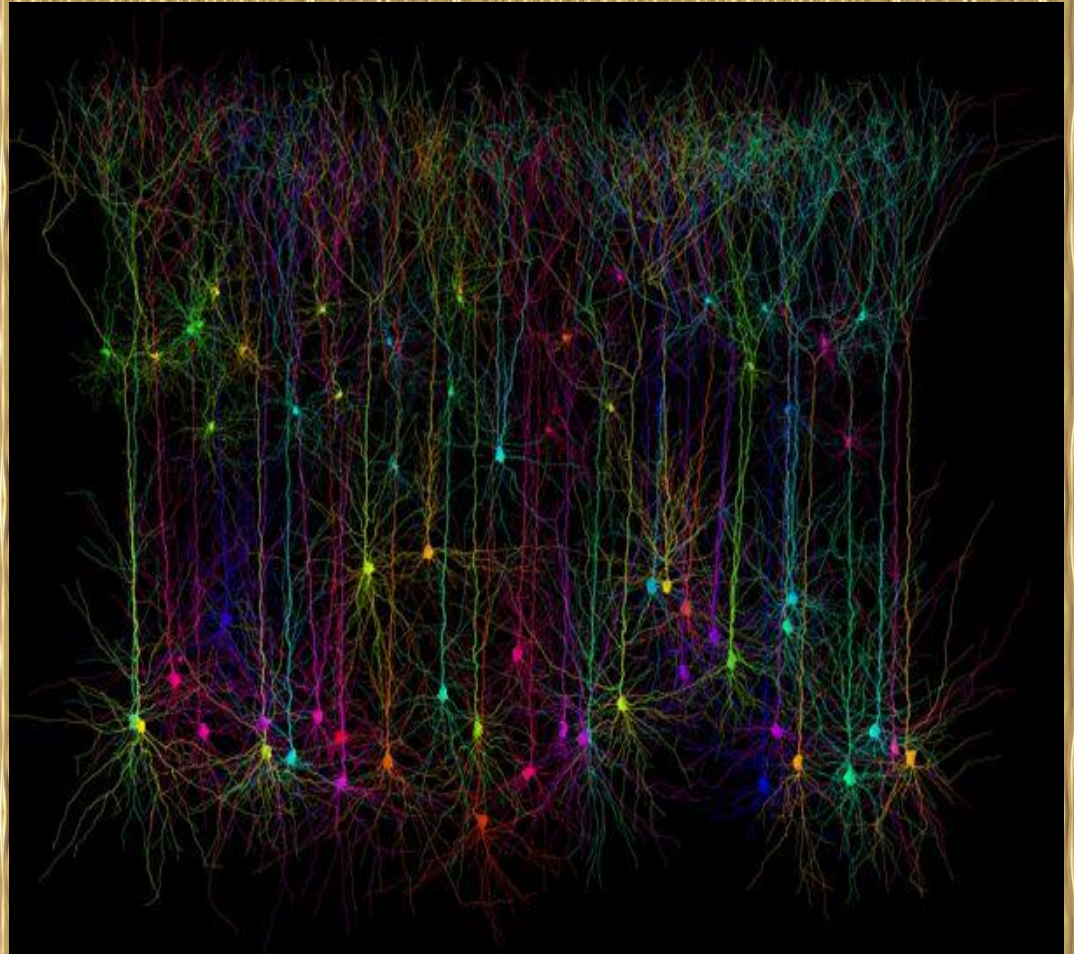
INFORMATYKA

Adrian Horzyk

Sztuczne systemy skojarzeniowe  
i asocjacyjna sztuczna inteligencja



Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT  
Warszawa 2013



[horzyk@agh.edu.pl](mailto:horzyk@agh.edu.pl)

<http://home.agh.edu.pl/~horzyk>