

CYFRYZACJA

# Systemy inteligentne w sieci Internet

**Witold Bartkiewicz**  
**Przemysław Dembowski**  
**Jerzy Stanisław Zieliński**

# **Systemy inteligentne w sieci Internet**



WYDAWNICTWO  
UNIWERSYTETU  
ŁÓDZKIEGO

**CYFRYZACJA**

# **Systemy inteligentne w sieci Internet**

**Witold Bartkiewicz  
Przemysław Dembowski  
Jerzy Stanisław Zieliński**



**WYDAWNICTWO  
UNIwersYTETU  
ŁÓDZKIEGO**

Łódź–Kraków 2020

Witold Bartkiewicz, Przemysław Dembowski, Jerzy Stanisław Zieliński  
– Uniwersytet Łódzki, Wydział Zarządzania, Katedra Informatyki  
90-237 Łódź, ul. J. Matejki 22/26

RECENZENCI  
*Ryszard Tadeusiewicz*  
*Zdzisław Szyjewski*

REDAKTOR INICJUJĄCY  
*Beata Koźniewska*

OPRACOWANIE REDAKCYJNE  
*Mateusz Malicki*

SKŁAD I ŁAMANIE  
*AGENT PR*

PROJEKT OKŁADKI  
*AGENT PR*  
*Anna Basista*

Na okładce wykorzystano grafikę  
© Depositphotos.com/grandfailure

© Copyright by Authors, Łódź–Kraków 2020  
© Copyright for this edition by Uniwersytet Łódzki, Łódź–Kraków 2020  
© Copyright for this edition by AGENT PR, Łódź–Kraków 2020

Wydane przez Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego  
Wydanie I. W.09588.19.0.K

Ark. wyd. 12,5; ark. druk. 13,625

ISBN 978-83-8220-353-0  
e-ISBN 978-83-8220-354-7  
ISBN AGENT PR 978-83-64462-67-2

Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego  
90-131 Łódź, ul. Lindleya 8  
www.wydawnictwo.uni.lodz.pl  
e-mail: ksiegarnia@uni.lodz.pl  
tel. 42 665 58 63

# Spis treści

<b>Wprowadzenie</b>	<b>7</b>
<b>Rozdział 1</b>	
Wybrane problemy zarządzania w społeczeństwie informacyjnym	11
1.1. Zmiany w organizacji zarządzania	11
1.2. Wpływ komputeryzacji na zarządzanie. Systemy informatyczne zarządzania	12
1.3. Sztuczna inteligencja	14
1.3.1. Wprowadzenie	14
1.3.2. Systemy ekspertowe (systemy z bazą wiedzy)	14
1.3.3. Sztuczne sieci neuronowe	16
1.3.4. Inne narzędzia sztucznej inteligencji	19
1.3.5. Zastosowania sztucznej inteligencji	19
1.3.6. Co dalej ze sztuczną inteligencją?	20
1.4. Nowe narzędzia informatyczne	21
1.4.1. Internet rzeczy ( <i>Internet of Things – IoT</i> ) oraz Internet wszystkiego ( <i>Internet of Everything – IoE</i> )	21
1.4.2. Chmura obliczeniowa [Czerwonka 2016]	23
1.4.3. Integracja informatycznych systemów zarządzania i nowych narzędzi informatycznych	25
Literatura	25
Spis rysunków	26
<b>Rozdział 2</b>	
Inteligentne usługi informacyjne	27
2.1. Tradycyjne modele wyszukiwania informacji tekstowej	27
2.1.1. Model boolowski wyszukiwania informacji	27
2.1.2. Model wektorowy wyszukiwania informacji	35
2.1.3. Model probabilistyczny wyszukiwania informacji	52
2.2. Rozszerzenia modeli rankingujących z wykorzystaniem metod inteligentnych	64
2.2.1. Model rozmyty wyszukiwania informacji	64

2.2.2.	Skojarzeniowe wyszukiwanie informacji z wykorzystaniem sieci pojęć	82
2.2.2.1.	Wiedza dziedzinowa w systemach wyszukiwawczych	82
2.2.2.2.	Wyszukiwanie skojarzeniowe z użyciem sieci semantycznych	86
2.2.2.3.	Wyszukiwanie skojarzeniowe z wykorzystaniem sieci asocjacyjnych	97
2.2.2.4.	Wyszukiwanie skojarzeniowe z wykorzystaniem sieci wnioskujących	108
2.2.3.	Metody uczenia maszynowego w identyfikacji funkcji rankingującej	135
2.2.3.1.	Charakterystyka modeli uczenia się rankingowania	135
2.2.3.2.	Podejście punktowe	142
2.2.3.3.	Podejście oparte na parach	160
2.2.3.4.	Podejście oparte na listach	179
	Literatura	185
	Spis rysunków	192

### **Rozdział 3**

	Nowe technologie w sieci Internet – krótka charakterystyka i możliwe zastosowania	193
3.1.	Business Intelligence	193
3.2.	Nowy model interfejsów	196
3.2.1.	Rozszerzona rzeczywistość	196
3.2.2.	Wspomagane wyszukiwanie	198
3.2.3.	Robotyzacja procesów biznesowych	199
3.3.	Inteligentne roboty i agenty sieciowe Chat-boty	201
3.4.	Technologia Semantic Web	208
	Literatura	213
	Spis rysunków	214

	<b>Epilog</b>	<b>217</b>
--	---------------	------------

# Wprowadzenie

Internet jest jednym z największych i najważniejszych zasobów informacyjnych we współczesnym świecie. Dostarcza on informacji zarówno dla organizacji, oferując im olbrzymie możliwości budowania przewagi konkurencyjnej na rynku, jak również dla klientów i indywidualnych użytkowników. Należy jednak zwrócić uwagę, że wykorzystanie zasobów dostępnych za pośrednictwem Internetu nie jest zadaniem łatwym.

Źródła informacji w sieci rozproszone są na miliardach serwerów, co samo w sobie powoduje już ogromne problemy. Brak jest przy tym koordynacji i uporządkowania zarówno samej struktury sieci, jak i jej zawartości. Internet podlega nieustannemu wzrostowi i ma charakter bardzo dynamiczny, tempo przyrostu rozmiarów zasobów informacyjnych jest bardzo wysokie.

Informacje w Internecie mają różnorodny charakter. W większości są to jednak niestrukturalne dokumenty (tekst, strony HTML, dokumenty multimedialne). Nie posiadają one ściśle zdefiniowanej, struktury informacyjnej, określanej często jako schemat informacji, a przynajmniej tego rodzaju struktura zazwyczaj nie jest znana korzystającym z nich użytkownikom.

Niniejsza książka poświęcona jest zagadnieniom wspomagania wykorzystania zasobów informacyjnych dostępnych w sieci. Rozmiary Internetu oraz znajdujących się w nim źródeł informacji powodują, że dla efektywnego korzystania z nich, niezbędne jest zastosowanie metod automatycznego przetwarzania treści zawartych w sieci. Problemy, związane w znacznej mierze z niestrukturalnym charakterem dostępnych w Internecie informacji, powodują, że obecny poziom rozwoju tego typu oprogramowania jest daleki od satysfakcjonującego – wystarczy tu choćby wspomnieć kwestie funkcjonowania wyszukiwarek internetowych.

Typowe dane strukturalne (jak np. w relacyjnych bazach danych, plikach rekordów itp.) mają ściśle zdefiniowaną strukturę semantyczną. W tego rodzaju źródłach zasoby informacyjne podzielone są na określone elementy o znanym, jednorodnym znaczeniu. Semantyka każdego elementu danych jest określona, znany jest również schemat zależności znaczeniowych w całej strukturze. Wiadomo, czego dotyczy każdy jej element – przykładowo, wiemy, że w relacyjnej bazie w tabeli o nazwie Studenti w kolumnie Imię znajdują się imiona studentów, a nie, powiedzmy, nazwy tradycyjnych potraw regionalnych.



Oczywiście w Internecie znajdziemy również źródła strukturalne – głównie udostępniane bazy danych. W wielu jednak przypadkach zawarte w nich dane dostępne są za pośrednictwem niestukturalnych stron HTML.

Dokument zaś to zwykle duży zasób różnorodnych informacji, pozbawiony uporządkowanego podziału na jednorodne semantycznie, proste elementy danych. Wykorzystanie informacji niestukturalnej wymaga czegoś w rodzaju „zrozumienia” treści dokumentu, co jest zadaniem wykonalnym dla ludzi, lecz ogromnym wyzwaniem dla systemów informatycznych. Ponadto w przypadku najczęstszej formy informacji niestukturalnej – tekstów – ich treść zapisana jest w języku naturalnym, który ma charakter nieprecyzyjny. Opis informacji na poziomie leksykalnym często jest wieloznaczny, znaczenie słów wymaga uwzględnienia ich kontekstu. Dla prawdziwego zrozumienia dokumentu w wielu przypadkach niezbędna jest również pewna wiedza z danego obszaru, którego dotyczy jego zawartość.

Wszystkie te kwestie powodują, że usprawnienia funkcjonowania systemów informatycznych wspomagających wykorzystanie zasobów internetowych, szuka się na gruncie sztucznej inteligencji, oczywiście w połączeniu z elementami analizy języka naturalnego, lingwistyki obliczeniowej i szeregu pokrewnych dziedzin. Zrozumienie zawartości dokumentu, niezbędne dla lepszego jego przetwarzania, wymaga od systemu informatycznego cech związanych z inteligentnym jego działaniem.

Tak ogromny zbiór problemów związanych z narastającą ilością informacji i metod przetwarzania jej wpływa na sposób przedstawienia problemów w rozdziale pierwszym, umożliwiając Czytelnikom zebranie ogólnej informacji o problemie, a w razie zainteresowania jakimś tematem, ułatwienie znalezienia odpowiedniej publikacji. Dla zobrazowania nakładu pracy potrzebnej dla rozwiązania rozważanych zagadnień drugi rozdział przedstawia obszernie inteligentne usługi informacyjne, zaś trzeci rozdział skrótowo zarysowuje nowe technologie w sieci Internet.

Pierwszy rozdział rozpoczyna się od opisu rozwoju hierarchicznych informacyjnych systemów zarządzania (ISZ) do systemów rozproszonych i do zintegrowanych systemów informacyjnych najnowszych generacji stosujących narzędzia sztucznej inteligencji (*Artificial Intelligence – AI*) takich jak na przykład Systemy Ekspertowe, Sztuczne Sieci Neuronowe, Algorytmy Ewolucyjne, Systemy Hybrydowe, Inteligencja Komputerowa i szereg innych. Przedstawiono nowe narzędzia informatyczne: Internet Rzeczy (*Internet of Things – IoT*) Internet Wszystkiego (*Internet of Everything – IoE*) Chmurę Obliczeniową (*Cloud Computing – CC*). Podano

przykłady badań w obszarze sztucznej inteligencji we Francji i w Polsce, omówiono poglądy na temat zagrożeń związanych z zastosowaniem sztucznej inteligencji.

Najobszerniejszą częścią niniejszej książki jest rozdział drugi poświęcony inteligentnym metodom przetwarzania informacji niestrukturalnej. Koncentrujemy się tutaj na metodach analizy tekstu, z wykorzystaniem słów kluczowych (tzw. termów indeksujących). Rozpoczynamy od przeglądu tradycyjnych podejść do wyszukiwania informacji tekstowej – modelu boolowskiego, wektorowego oraz probabilistycznego, co pozwoli nam się przyjrzeć odmiennym spojrzeniom na możliwe sposoby analizy tekstów.

Dalej przechodzimy do wykorzystania metod inteligentnych do ulepszenia działania samego modelu wyszukiwawczego, tj. przede wszystkim sposobu oceny dopasowania dokumentu do zapytania. Przyjrzymy się różnorodnym rozwiązaniom, wpływającym ze wszystkich trzech podstawowych paradygmatów wyszukiwania informacji, tj. logicznego, wektorowego (algebraicznego) oraz probabilistycznego.

Rozpoczynamy od zagadnień logiki rozmytej, oraz wykorzystania właściwości zbiorów rozmytych do wyrażania nieprecyzji właściwej naszemu aparatowi lingwistyczno-pojęciowemu, w celu łatwiejszego, bardziej precyzyjnego formułowania zapytań. Logika rozmyta stanowi w tym przypadku narzędzie pozwalające na rozszerzenie paradygmatu boolowskiego modelu wyszukiwania informacji. Następnie przechodzimy do skojarzeniowego wyszukiwania informacji, z zastosowaniem różnego rodzaju sieci pojęć: semantycznych, konekjonistycznych (neuronowych o lokalnej reprezentacji), oraz wnioskujących (bayesowskich). Umożliwiają one polepszenie jakości etapu dopasowywania zapytań i dokumentów, w modelach wektorowym i probabilistycznym, poprzez wykorzystanie do tego celu wiedzy dziedzinowej, wbudowanej w struktury zastosowanej sieci.

Rozdział drugi zakończymy przeglądem wykorzystania metod uczenia maszynowego do nauki bardziej złożonych funkcji rankingujących dokumenty, wychodzących poza proste miary podobieństwa i uczenie polegające na zebraniu podstawowych statystyk wykorzystania słów kluczowych w kolekcji. Do tego zadania przede wszystkim stosowane są różnego rodzaju sieci neuronowe, o globalnej, subsymbolicznej reprezentacji wiedzy.

W naszej książce koncentrujemy się przede wszystkim na metodach inteligentnych wspomagających dostęp do informacji w Internecie. W rozdziale trzecim przedstawiamy jednak krótką charakterystykę wybranych

innych zastosowań systemów inteligentnych w sieci. Omówione zostały zagadnienia związane z inteligentnymi interfejsami użytkownika w Internecie, robotami software'owymi, czy też podejściem opartym na Semantic Web.

Autorzy mają nadzieję, że książka odpowie na przynajmniej jedno z poniższych pytań:

- Co to jest ta informatyka?
- Czy informatyka oferuje społeczeństwu narzędzia radzenia sobie z ogromnym zalewem informacji we współczesnym świecie?
- Co to jest sztuczna inteligencja i czy jest ona niebezpieczna?
- Czy rozwój systemów sztucznej inteligencji jest niezbędny, nawet pomimo problemów i zagrożeń, jakie mogą wiązać się z nimi w przyszłości?
- Czy potrzebne są duże nakłady na badania i zastosowania informatyki?

Jeśli udało się udzielić takich odpowiedzi, to ta książka może i powinna zainteresować studentów uczelni humanistycznych, jak i technicznych z kierunków nieinformatycznych, i ogólnie ludzi ciekawych świata.

# Rozdział 1

## Wybrane problemy zarządzania w społeczeństwie informacyjnym

### 1.1. Zmiany w organizacji zarządzania

Rewolucja przemysłowa, która rozpoczęła się, w XVIII wieku w Anglii i Szkocji zainicjowała powstawanie nowych miejsc produkcji zlokalizowanych w pobliżu źródeł energii i wody, powodując konieczność zorganizowania ich pracy w sposób umożliwiający działanie i rozwój. Początkowo przedsiębiorstwa były zlokalizowane w jednym miejscu, ale w miarę rozwoju postępu technicznego i gospodarki, rozrastały się terytorialnie na sąsiednie rejony, kraje i kontynenty. Tak więc początkowo hierarchiczny proces zarządzania skupiony w jednym miejscu, musiał stać się systemem rozproszonym.

Proces ten można przedstawić na przykładzie rozwoju systemu elektroenergetycznego [Ciach, Czerwonka i in., 2019] którego podstawowe elementy (źródła prądu elektrycznego, linia przesyłowa, odbiornik) powstały w końcu XIX wieku, kiedy to w większych miastach zastosowano elektryczne oświetlenie, zasilane z małych prądnic. Dostarczenie coraz popularniejszej energii elektrycznej wymagało budowania elektrowni o odpowiedniej mocy, które powstawały w dużych miastach na początku XX wieku (w Łodzi w 1907 roku uruchomiono elektrownię EC1, w której źródłem energii pierwotnej był węgiel dowożony ze Śląska). W niektórych krajach posiadających odpowiednie warunki hydrologiczne (np. wodospady jak Norwegia i inne państwa) powstawały elektrownie wodne. Niezależnie od rodzaju źródła, droga przepływu prądu biegła od źródła przez linię elektroenergetyczną do odbiorcy, a więc była to droga charakterystyczna dla tak zwanego monopolu naturalnego zarządzanego w układzie hierarchicznym.

W drugiej połowie XX wieku zaczęły powstawać elektrownie wiatrowe w miejscach do których ze względów ekonomicznych lub technicznych nie opłacało się dostarczać energii elektrycznej z oddalonych źródeł (np. wyspy na morzu Śródziemnym). Proces ten rozwinął się w wyniku deficytu źródeł energii pierwotnej pochodzących z paliw kopalnych (węgiel, ropa naftowa) powodujących brak energii elektrycznej. Koniecznością stało się dołączanie lokalnych źródeł tak zwanej energii odnawialnej (OZE) powodujące rozproszenie źródeł energii, a zatem powstanie rozproszonego systemu zarządzania energią elektryczną związanego z nową organizacją i oprzyrządowaniem sieci elektroenergetycznej nazwanej Smart Grid [Ciach, Czerwonka i in., 2019].

Zarządzanie organizacją gospodarczą związane jest z przyjmowaniem zbiorów danych, przechowywaniem danych przetworzonych do postaci potrzebnej w przedsiębiorstwie, generowanie nowych danych emitowanie ich do kontrahentów. Wszystkie te działania związane z danymi, można określić ogólnym mianem: przetwarzanie [Bartkiewicz, Jabłoński, 2005]. Ze względu na wzrastającą ilość danych niezbędną staje się automatyzacja przetwarzania w stopniu wynikającym z potrzeb, i zasobności przedsiębiorstwa oraz dostępności odpowiednich urządzeń na rynku.

## 1.2. Wpływ komputeryzacji na zarządzanie Systemy informatyczne zarządzania

Pierwsza publiczna prezentacja elektronicznego (lampowego) komputera ENIAC (*Electronic Numerical Integrator And Calculator*) w 1946 roku wzbudziła ogromne nadzieje na zastąpienie człowieka w wykonywaniu skomplikowanych obliczeń, ale dopiero komputery tranzystorowe, a zwłaszcza na układach scalonych, umożliwiły praktyczne przetwarzanie danych dla potrzeb zarządzania. Możliwości obliczeniowe komputerów budowanych w latach czterdziestych ub. wieku były ograniczone do czterech działań arytmetycznych, co sprzyjało budowaniu systemów informatycznych zarządzania (SIZ), nazwanych systemami transakcyjnymi (*Transaction Processing System* – *TPS*) [Zieliński, 2018; Bartkiewicz, Bolek i in., 2008; Kisielnicki, 2013]. Znaczące postępy w stopniu integracji układów scalonych ułatwiały konstruowanie coraz wydajniejszych komputerów, a zatem i tworzenie nowych języków programowania [Bartkiewicz, Jabłoński, 2005] niezbędnych w budowie nowych systemów informatycznych zarządzania.

Systemy wspomagania decyzji SWD (*Decision Support System – DSS*) umożliwiają [Kisielnicki, 2013]:

- wykonywanie skomplikowanych analiz i porównań,
- przetwarzanie dużych ilości danych,
- pobieranie i przetwarzanie danych z różnych źródeł,
- pracę zarówno z tekstem, jak i grafiką.

Postępujący rozwój nowych systemów informatycznych zarządzania o różnych funkcjach i zakresach stosowania spowodował konieczność integracji istniejących rozwiązań prowadzącej do zintegrowanego systemu informatycznego [Kisielnicki, 2013] umożliwiającego:

- planowanie potrzeb materiałowych (*Material Resources Planning – MRP*),
- planowanie zasobów produkcyjnych (MRPII),
- planowanie zasobów przedsiębiorstwa (*Enterprise Resources Planning – ERP*).

Profesor Kisielnicki stosuje inne nazewnictwo spowodowane tym, że obecnie nie ma przedsiębiorstwa działającego w globalnym otoczeniu (ryнку), które nie stosowało by komputerów wspomagających zarządzanie, zatem można opuścić przymiotnik „informatyczny” i mówić: informacyjny system zarządzania. W swojej książce [Kisielnicki, 2013] przedstawia on również nieco odmienną klasyfikację SIZ przedstawioną tam na rys. III.12, na którym wyraźnie widać, że system transakcyjny jest elementem każdego SIZ. To spostrzeżenie potwierdza literatura wskazująca, że systemy transakcyjne są wykorzystywane w 80–90% przypadkach zastosowania SIZ.

W XXI wieku pojawiło się i intensywnie rozwija się e-zarządzanie (zarządzanie elektroniczne) wykorzystujące istniejące i nowo rozwijane narzędzia elektroniczne jak Internet, przetwarzanie w chmurze (*Cloud Computing – CC*) Internet wszystkiego (*Internet of Everything – IoE*), nowe generacje systemów komunikacyjnych np. 5G (obecnie stosowane są druga, trzecia i czwarta generacje: 2G, 3G i 4G).

W przedsiębiorstwach można spotkać dwa różniące się systemy automatyzacji: procesów biznesowych oraz procesów technologicznych, które mogą być powiązane ze sobą w stopniu zależnym od rodzaju przedsiębiorstwa. W obu procesach stosowane są komputery i roboty z tym, że komputery stosowane są do sterowania całością lub znaczącą częścią procesu biznesowego lub technologicznego, a roboty tylko jego fragmentem (kasa fiskalna, podnośnik itp.). Bliżej o tych sprawach będzie mowa w rozdziale 3.

## 1.3. Sztuczna inteligencja

### 1.3.1. Wprowadzenie

Działanie ludzkiego mózgu fascynowało ludzi już w starożytności (Arystoteles) i zainteresowanie to utrzymywało się przez wieki, ale brak wiedzy i odpowiednich narzędzi badawczych uniemożliwił rozwiązanie zagadki. Dopiero rewolucja przemysłowa, rozwój badań nad ludzkim organizmem i teorią systemów [Zieliński, 1984] umożliwiły w pierwszej połowie XX wieku formułowanie pierwszych koncepcji w tej dziedzinie [Bartkiewicz, Bolek i in., 2008]. Uruchomienie elektronicznego komputera ENIAC wywołało nadzieję na rozwiązanie odwiecznej zagadki i zintensyfikowało prace nad tym zagadnieniem w USA.

Powszechnie przyjęto, że w 1956 roku narodziła się *sztuczna inteligencja* (*Artificial Intelligence – AI*) choć M. Flasiński przedstawia [Flasiński, 2011] uzasadnienie dla przyjęcia roku 1955 jako daty narodzin AI.

Nazwie *sztuczna inteligencja* M. Flasiński [Flasiński, 2011] przypisuje dwa znaczenia:

- jest to wspólna nazwa dwóch dziedzin: informatyki oraz *biotyki*,
- jest to cecha sztucznych systemów umożliwiająca wykonywanie czynności, które w przypadku człowieka wymagają inteligencji.

(W tym drugim znaczeniu, tzn. jako cecha systemów [Sidigue, Hojjat, 2013] jest przedmiotem badań nie tyle informatyki i robotyki, ile dziedziny zwanej *kognitywistyką*).

### 1.3.2. Systemy ekspertowe (systemy z bazą wiedzy)

Badania nad sztuczną inteligencją i jej praktycznymi zastosowaniami prowadzone były w amerykańskich uniwersytetach i placówkach naukowych, dopiero po kilkunastu latach zaczęły się ukazywać prace z W. Brytanii i Japonii. Celem początkowych badań było odwzorowanie funkcji ludzkiego mózgu, ale po paru latach osiągnięto poziom ludzkiego niemowlęcia i zrezygnowano z tego projektu implikując burzliwe dyskusje w środowiskach naukowych. Postanowiono sformułować skromniejszy cel badań, jakim stało się zbudowanie systemu odwzorowującego eksperta określonej dziedziny. Zawężenie celu przyniosło pozytywny efekt i w 1965 roku w trzech amerykańskich uniwersytetach

uruchomiono pierwsze trzy systemy ekspertowe [Bartkiewicz, Czajkowska i in., 1999]:

- |         |  |
|---------|--|
| Dendral | Uniwersytet Stanford – informacje o strukturze chemicznej.     |
| Macsyma | Uniwersytet MIT – złożona analiza matematyczna.                |
| Hersay  | Uniwersytet Canegie-Mellon – interpretacja naturalnego języka. |

Ponieważ systemy ekspertowe (SE) były przez kilkanaście lat jedynymi nowoczesnymi, efektywnymi narzędziami przynoszącymi korzyści, szybko powstawały nowe systemy najpierw w USA, później w Wielkiej Brytanii i Japonii. W literaturze można spotkać różne definicje SE [Bartkiewicz, Czajkowska i in., 1999], jedna z nich ma następującą postać: „System ekspertowy jest programem komputerowym, który wykonuje złożone zadania o dużych wymaganiach intelektualnych i robi to tak dobrze, jak człowiek będący ekspertem w tej dziedzinie” [Mulawka, 1996].

Podstawą do klasyfikacji SE jest liczba reguł zastosowanych do rozwiązania problemu (wydania ekspertyzy): 50, 100–299, 300–499, 500–999, ponad 1000.

Do działania systemu ekspertowego niezbędne są: baza wiedzy, podsystem wnioskujący i interfejs wyjściowy wydający wynik na dowolnym urządzeniu, którym może być na przykład układ sterujący procesem technologicznym. W fazie projektowania potrzebny jest także interfejs wejściowy umożliwiający *inżynierowi wiedzy* wprowadzanie do bazy wiedzy poprzez podsystem gromadzenia wiedzy niezbędnych o działania pojęć, reguł itd. Podsystem objaśniający ułatwia prześledzenie drogi utworzenia wydanej decyzji. Tak utworzony SE jest systemem statycznym, działającym na podstawie parametrów statycznych wprowadzonych w fazie projektowania. Dla usunięcia tego niedostatku, wprowadzamy dane z modelu matematycznego badanego problemu, dostarczając do bazy aktualniejsze dane. Architektura tak utworzonego SE przedstawiono na podstawie [Bartkiewicz, Czajkowska i in., 1999] na rys. 1.3.1. Systemy ekspertowe znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach, np. w elektroenergetyce [Bartkiewicz, Czajkowska i in., 1999; Tadeusiewicz, 1993; Sidigue, Hojjat, 2013; Zieliński, Jęczkowska i in., 1993] i wielu innych [McDonald, Burt i in., 1997].



## Systemy ekspertowe (SE)

Architektura SE:



Prof. dr hab. Jerzy S. Zieliński Uniwersytet Łódzki

Rys. 1.3.1. Struktura systemu ekspertowego

Źródło: [Bartkiewicz, Czajkowska i in., 1999].

### 1.3.3. Sztuczne sieci neuronowe

Inspiracją do badania sztucznych sieci neuronowych (SSN) jest ludzki mózg złożony z neuronów o specyficznych właściwościach:

- 1) człowiek w dniu narodzin ma  $1,5-10^{10}$  neuronów i każdej doby traci ich ok. 15 000 (neurony nie regenerują się),
- 2) liczba połączeń jednego neuronu wynosi  $10^4$ ,
- 3) pojemność ludzkiej pamięci wynosi  $10^{18}$  neuronów,
- 4) liczba operacji/sekundę mózgu wynosi  $10^{16}$ ,
- 5) energia użyta w jednej operacji to  $10^{-16}$  dżuła.

Wartości parametrów 3, 4, 5 są nieosiągalne dla komputerów zbudowanych według zasad fizyki Newtona [Bartkiewicz, Bolek i in., 2008].

Podstawowym elementem SSN jest model sztucznego neuronu opracowany w 1943 przez Warrena S., McCullocha i Waltera Pittsa przedstawiający komórkę z licznymi wejściami (*dendrytami*) i jednym wyjściem (*aksonem*) zakończonym wieloma *synapsami* [Tadeusiewicz, 1993]. Komórkę charakteryzują dwa parametry decydujące o możliwości przyjęcia

nadchodzących sygnałów i ich wysłaniu po przekształceniach [Bartkiewicz, Czajkowska i in., 1999]. Przez odpowiednie połączenie neuronów otrzymujemy sztuczną sieć neuronową, której architektura i zasada działania określa jej typ.

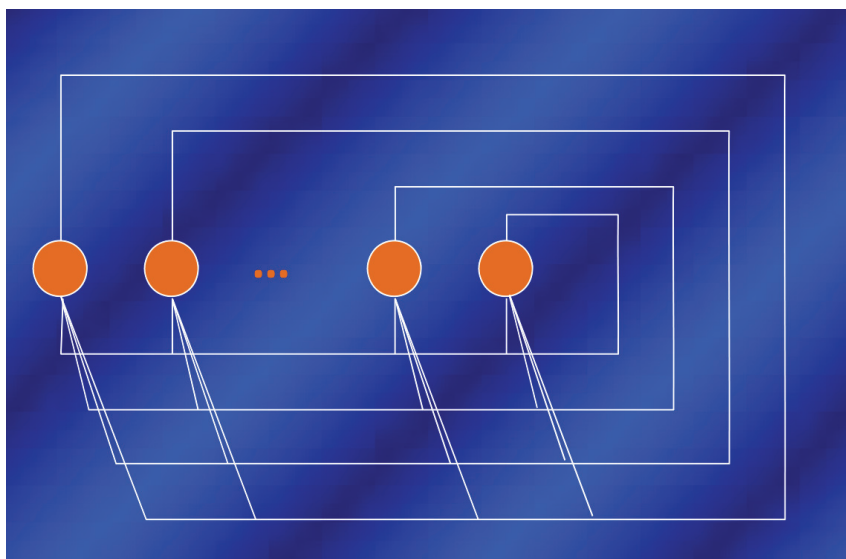


**Rys. 1.3.2.** Warstwowa sieć perceptronowa

**Źródło:** [Bartkiewicz, Czajkowska i in., 1999].

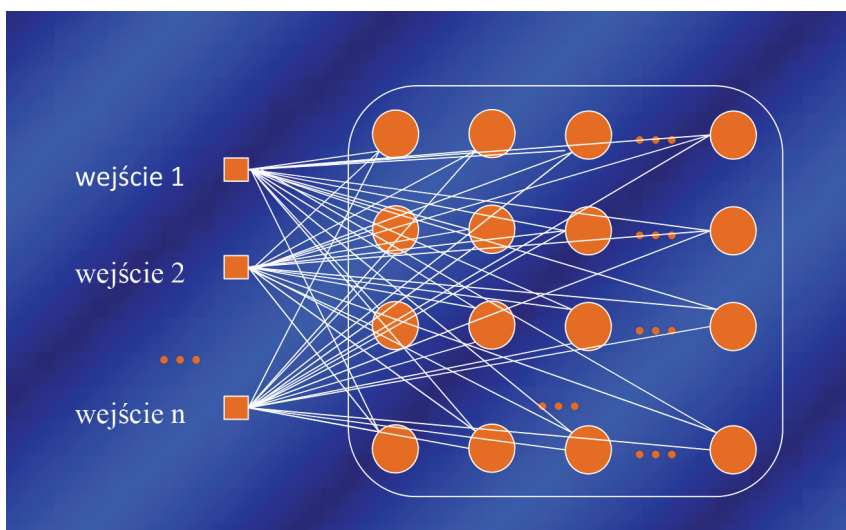
Warstwowa sieć perceptronowa przedstawiona na rys. 1.3.2 [Bartkiewicz, Czajkowska i in., 1999] składać musi się z co najmniej trzech warstw: wejściowej z liczbą neuronów równą liczbie znanych parametrów opisujących zjawisko, ukrytej (może być tych warstw więcej) i wyjściowej złożonej z tylu neuronów, ilu oczekujemy wyników. W sieci przedstawionej na rys.1.3.2 proces rozwiązania przebiega w jednym kierunku: od wejścia do wyjścia (sieć warstwowa jednokierunkowa) natomiast sieć Hopfielda przedstawiona na rys. 1.3.3 jest siecią rekurencyjną, w której sygnały wyjściowe są wprowadzane na wejścia neuronów

Odmianą strukturę natomiast mają sieci Self Organizing MAP, przykład której przedstawiony został na rys. 1.3.4 [Bartkiewicz, Czajkowska i in., 1999], Nazywane są one również Sieciami Kohonena. Składają się zwykle z jednej warstwy wejściowej neuronów i z jednej warstwy neuronów przetwarzających (warstwa rekurencyjna, warstwa Kohonena).



**Rys. 1.3.3.** Struktura w pełni połączonej sieci rekurencyjnej

**Źródło:** opracowanie własne.



**Rys. 1.3.4.** Mapa cech Kohonena

**Źródło:** opracowanie własne.

Istnieje szereg innych SSN, których zasady projektowania, użytkowania i zastosowania przedstawiono w [Bartkiewicz, Czajkowska i in., 1999; Tadeusiewicz, 1993].