*Opracowanie*

|  |  |
| --- | --- |
| *Tytuł projektu* | **Scenariusze i trendy rozwojowe wybranych technologii społeczeństwa informacyjnego do roku 2025** |
| *Nr projektu* | **WND-POIG.01.01.01-00-021/09** |
| *Nr Zadania* | **Zadanie 4** |
| *Tytuł opracowania* | **Modele ewolucji technologicznej i rynku specjalistycznych systemów eksperckich i wspo­magania decyzji w medycynie, oraz pers­pektyw ich rozwoju do roku 2025.  Cz. I. Medyczne systemy wspomagania decyzji** |
| *Autorzy* | **Andrzej M.J. Skulimowski, Inez Badecka** |
| *Miejsce i data* | **Kraków, czerwiec 2011 (wersja 1)**  **wrzesień 2017 (wersja.1.2)** |

Projekt dofinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, lata 2007-2012, Działanie 1.1 Wsparcie badań naukowych dla budowy gospodarki opartej na wiedzy: Poddziałanie 1.1.1 Projekty badawcze z wykorzystaniem metody foresight

Spis treści

[1. Wprowadzenie 5](#_Toc493115701)

[2. Medyczne systemy wspomagania decyzji 6](#_Toc493115702)

[3. Klasyfikacja i historia CDSS 11](#_Toc493115703)

[4. Taksonomia medyczna, a MDSS 18](#_Toc493115704)

[5. Medyczne systemy eksperckie 20](#_Toc493115705)

[5.1 Klasyfikacja systemów eksperckich 21](#_Toc493115706)

[5.2 Medyczne systemy wspomagania decyzji oparte na wiedzy (Knowledge-Based MDSS) 22](#_Toc493115707)

[5.3 Zastosowanie baz wiedzy w MDSS 23](#_Toc493115708)

[6. Podstawowe metody analityczne i obszary badawcze związane z eksploracją danych na potrzeby MDSS 25](#_Toc493115709)

[6.1 Systemy Data Driven, metody eksploracji danych (Data Mining) 25](#_Toc493115710)

[6.2. Metody klasyfikacji danych diagnostycznych 25](#_Toc493115711)

[Metody k-średnich i rozmytych k-średnich (k-means i fuzzy k-means) 25](#_Toc493115712)

[Metoda wektorów nośnych (Support Vector Machine, SVM) 26](#_Toc493115713)

[Analiza składowych głównych (Principal Component Analysis, PCA) 26](#_Toc493115714)

[6.3 Techniki analizy i przetwarzania medycznych obrazów cyfrowych 26](#_Toc493115715)

[6.4 Techniki symulacji w medycznych SWD 27](#_Toc493115716)

[6.5 Metody strukturyzacji procedur decyzyjnych 28](#_Toc493115717)

[Drzewa decyzyjne (Decision trees) 28](#_Toc493115718)

[Wielokryterialna analiza decyzji 28](#_Toc493115719)

[6.6 Zarządzanie niepewnością 29](#_Toc493115720)

[Zbiory rozmyte 30](#_Toc493115721)

[Zbiory przybliżone (Rough sets) 30](#_Toc493115722)

[Teoria Dempstera-Shafera (teoria możliwości, possibility theory) 31](#_Toc493115723)

[Logika wielowartościowa 31](#_Toc493115724)

[Sieci bayesowskie 31](#_Toc493115725)

[6.7 Zastosowania sztucznych sieci neuronowych w MDSS 32](#_Toc493115726)

[6.8 Wybrane pozostałe obszary badawcze analizy danych i zarządzania wiedzą istotne dla zastosowań medycznych 34](#_Toc493115727)

[Sieci semantyczne (Semantic Web) 34](#_Toc493115728)

[Bezpieczeństwo informacji o pacjencie i zagadnienia przetwarzania bardzo dużych ilości danych medycznych 35](#_Toc493115729)

[Pozostałe metody stosowane w MDSS 36](#_Toc493115730)

[6.9 Podsumowanie metodyki MDSS 36](#_Toc493115731)

[6.10 Przykłady architektur informatycznych MDSS 39](#_Toc493115732)

[7. Wybrane obszary zastosowań MDSS 40](#_Toc493115733)

[7.1 Medycyna spersonalizowana, a MDSS 40](#_Toc493115734)

[7.2 Rozpoznawanie i rozumienie danych diagnostyki obrazowej 42](#_Toc493115735)

[7.3 Specjalistyczne zastosowania CDSS 42](#_Toc493115736)

[7.4 Metody i aplikacje wspomagające analizę ryzyka w medycynie 44](#_Toc493115737)

[8. MDSS, a mHealth 45](#_Toc493115738)

[8.1 Systemy webowe 46](#_Toc493115739)

[8.2 Systemy mHealth 46](#_Toc493115740)

[8.3 Technologie ubieralne (Wearable technologies) 47](#_Toc493115741)

[8.4 Body Area Networks (BAN) 48](#_Toc493115742)

[8.5 Telemedycyna, a mHealth 48](#_Toc493115743)

[9. Medyczne systemy rekomendujące 51](#_Toc493115744)

[10. Analiza trendów rozwojowych i innych zagadnień rekomendowanych do szczegółowego badania 53](#_Toc493115745)

[11. Wnioski i rekomendacje końcowe 56](#_Toc493115746)

[11.1 Podstawy dalszego rozwoju medycznych systemów eksperckich i MDSS w Polsce 56](#_Toc493115747)

[12. Bibliografia 58](#_Toc493115748)

[13. Ważne linki 64](#_Toc493115749)

[14. Spis rysunków 64](#_Toc493115750)

[15. Spis tabel 65](#_Toc493115751)

[16. Wykaz skrótów 65](#_Toc493115752)

# Wprowadzenie

Niniejszy raport jest pierwszą częścią opracowania pt. „*Modele ewolucji technologicznej i rynku specjalistycznych systemów eksperckich i wspomagania decyzji w medycynie, oraz perspektyw ich rozwoju do roku 2025*”, które z kolei należy do analizy trendów SWD wykonywanej w ramach Zadania 4 projektu foresightowego pt. „Scenariusze i trendy rozwojowe wybranych technologii społeczeństwa informacyjnego do roku 2025” przez konsorcjum Fundacji Progress & Business (Lider Projektu), Uniwersytetu Jagiellońskiego oraz Instytutu Informatyki Teoretycznej i Stosowanej PAN w Gliwicach (Partnerzy Projektu). Celem opracowania jest wyznaczenie, weryfikacja i prezentacja scenariuszy technologicznych dla kilku wybranych obszarów zaawansowanej informatyki, zarówno w kontekście technologicznym, jak i ekonomiczno-społecznym, w tym w szczególności dla systemów wspomagania decyzji, systemów eksperckich i systemów rekomendacyjnych. W ramach Raportu zbadano specjalistyczne zagadnienia pokrywające się z zakresem tematycznym Zadania 4 i (częściowo), 5 Projektu. Zgodnie ze Studium Wykonalności Projektu, głównymi celami Projektu są:

* Zebranie i systematyzacja najważniejszych informacji dotyczących tendencji rozwojowych i aktualnego stanu badań naukowych i wyzwań aplikacyjnych z dziedziny medycznych SWD i systemów diagnostycznych,
* Identyfikacja najbardziej istotnych metod badawczych stosowanych w badanych obszarach, z punktu widzenia odpowiedniego profilowania dalszych badań dotyczących kierunków rozwoju tych metod,
* Identyfikacja grup odbiorców produktów i technologii należących do obszaru badań,
* Identyfikacja potrzeb aplikacyjnych i użytkowych w obszarach tematycznych poszczególnych opracowań, ze strony zarówno odbiorców technologii (np. firmy software’owe), jak i użytkowników końcowych,
* Identyfikacja najważniejszych trendów i zagadnień do dalszej szczegółowej analizy;
* Oszacowanie wpływu rozwoju technologii objętych zakresem projektu, ich rynków oraz wpływu spodziewanych przemian kulturowo-społecznych i edukacyjnych na wdrażanie celów horyzontalnych UE,

Cele te realizowane były przy opracowywaniu niniejszego raportu. Jego zakres badań zawiera się w zakresie Zadania 4, jednakże część badanych zagadnień ma wspólne podobszary z Zadaniem 5. Są to m.in. interfejsy mózg-maszyna (BCI), mHealth (m-zdrowie), kognitywne aspekty procesów wspomagania i podejmowania decyzji. Tematami, którym w niniejszym opracowaniu poświęcone będzie najwięcej uwagi są m.in.:

* Systemy wspomagania decyzji w medycynie,
* Medyczne systemy eksperckie,
* Systemy „mobilnego zdrowia” (mHealth), a także pokrewnych zagadnień, takich jak telemedycyna, wHealth, Body Area Networks.

Badanie trendów wykonywane będzie głownie metodami bibliometrycznymi.

# Medyczne systemy wspomagania decyzji

Medyczne systemy wspomagania decyzji (*Medical Decision Support Systems*, w skrócie MDSS), stanowią jedną z najważniejszych klas systemów wspomagania decyzji (DSS), wyróżnioną nie tylko ze względu na zakres i scenariusze zastosowań, lecz także z uwagi na stosowany w ich implementacjach zestaw metod analitycznych architektur informatycznych. Specyficzny jest także rynek MDSS i modele biznesowe ich dostarczania, oparte na opłatach serwisowych w większej mierze, niż w przypadku innych klas DSS. Z drugiej strony, MDSS są ważnym elementem e-zdrowia (e-health), czyli ogółu technik informatycznych stosowanych w medycynie i służbie zdrowia. MDSS dostarczają wiedzy wspomagającej podejmowanie decyzji związanych z leczeniem lub rekomendują konkretne terapie lub badania diagnostyczne, zarówno personelowi medycznemu, jak i samym pacjentom. Wśród MDSS ważną podklasę stanowią systemy wspomagania decyzji klinicznych (ang. *Clinical Decision Support Systems*, skrót CDSS), które są narzędziem mającym na celu wspomaganie pracy lekarzy lub innych osób zaangażowanych w proces diagnozowania medycznego i leczenia, lecz nie są przeznaczone bezpośrednio dla pacjentów. Wynika stąd celowość wyodrębnienia analizy stanu wiedzy dotyczącej CDSS z podstawowych prac nad charakteryzacją ogólnych MDSS i medycznych systemów eksperckich. Specyficzne problemy związane ze stanem wiedzy w zakresie CDSS przedstawimy w Rozdz. 2.

W systemach wspomagania decyzji medycznych wykorzystywane są nowoczesne technologie informatyczne oraz zaawansowane techniki przetwarzania i interpretacji obrazów medycznych w celu uzyskania informacji użytecznych klinicznie. Systemy te w istotny sposób pomagają w codziennej pracy personelu medycznego i mają ogromny wpływ na jakość diagnoz medycznych i terapii. Dużą zaletą tych systemów jest możliwość efektywnego przetwarzania wiedzy niepełnej lub niepewnej, wykorzystanie której stanowi duże wyzwanie dla lekarzy i jest źródłem wielu błędów medycznych. MDSS umożliwiają ilościową ocenę ryzyka związanego z poszczególnymi decyzjami medycznymi, a przez to wyłonienie rozwiązań w danej sytuacji najlepszych. Mogą także wskazać konkretne czynności, które należy podjąć, by zmniejszyć niepewność posiadanej informacji, np. dodatkową diagnostykę pacjenta. Inną ważną zaletą MDSS jest możliwość fuzji informacji diagnostycznych pochodzących z heterogenicznych źródeł, takich jak różne rodzaje obrazowania medycznego (CT, PET, NMR, USG), badania analityczne, wywiad medyczny itd. Zasygnalizowane wyżej przykłady zastosowań wskazują, że MDSS już obecnie znajdują zastosowanie w większości dziedzin medycyny, a ich przyszła rola będzie wzrastać i w perspektywie roku 2025 pokryje zapewne wszystkie obszary medycyny.

W dalszej części niniejszego opracowania zwrócimy uwagę na najważniejsze trendy w zakresie rozwoju MDSS, które wyodrębnione zostały na podstawie analizy literaturowej oraz patentowej. Przede wszystkim zaobserwować można stałe zwiększający się zakres automatyzacji procesu diagnostycznego, który jest podstawą dalszych etapów podejmowania decyzji. Kolejnym trendem odpowiedzialnym za konwergencję medycznych systemów eksperckich i komputerowego wspomagania decyzji medycznych jest rozwój baz wiedzy (Czerni i in., 2010; Pawlak Z., 1997), na których opierają swoje działania algorytmy decyzyjne stosowane w MDSS. Bazy te podlegają ciągłej rozbudowie, zarówno pod względem ilościowym – z punktu widzenia ilości zgromadzonej wiedzy, w tym zwłaszcza historii chorób, jak i jakościowym – poprzez ciągłą weryfikację i korektę zgromadzonych informacji.

Rozwój medycznych baz wiedzy jest odrębnym trendem rozwojowym w zakresie e-zdrowia, który – jak wskazano wyżej - może być scharakteryzowany zarówno ilościowo, jak i jakościowo. Bazy te można rozpatrywać jako element składowy MDSS i medycznych systemów eksperckich, lecz są one również stosowane niezależnie od nich przez lekarzy i innych specjalistów medycznych, stanowiąc tym samym odrębną klasę systemów informatycznych. W ostatnich latach szczególną rolę o wzrastającym znaczeniu odgrywają tu bazy umieszczone w Internecie.

Podsumowując, można stwierdzić, że użytkowanie systemów wspomagania decyzji oraz rekomendujących w połączeniu z bazami wiedzy medycznej staje się coraz częstszą praktyką w medycynie. MDSS wykorzystywane są nie tylko przy diagnozie i terapii, lecz również w zarządzaniu całokształtem działania szpitala, w tym do przydzielania jego zasobów pacjentom i personelowi medycznemu, do planowania wizyt ambulatoryjnych, przydziału, planowania tras karetek ratunkowych, do tworzenia planów pracy personelu medycznego, w tym do przydziału lekarzy-specjalistów i pielęgniarek do planowanych zabiegów w szeregu dalszych zastosowań, w których usprawniają one działanie szpitala lub innej placówki medycznej jako ważny element Szpitalnego Systemu Informacyjnego (*Hospital Information System*, HIS, por. Piętka, 2004). Przegląd zalet i utrudnień związanych z korzystaniem z MDSS podany jest w Tab. 1.

Tab. . Porównanie MDSS i decyzji lekarskich podejmowanych bez wspomagania komputerowego

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **Zalety** | **Wady** |
| **Lekarz** | Możliwość zastosowania twórczego, niestandardowego, lub nieszablonowego podejścia. Pozytywny wpływ osobistego kontaktu na psychikę i wolę wyleczenia pacjenta. Większe możliwości poznania preferencji pacjenta odnośnie terapii, diagnostyki i celu leczenia. Możliwość personalizacji terapii | Trudność w dokumentacji istotnych elementów osobistego kontaktu pod­czas wizyty lekarskiej. Skutkiem tego są luki w dokumentacji leczenia. Duże koszty. Konieczność podejmowa­nia decyzji kilkakrotnie wraz z rozwojem sytuacji. Dłuższy czas podejmowania decyzji. Możliwość pomyłek lekarskich spowodowanych czynnikami subiektywnymi lub brakiem wiedzy [Koppel, Metlay J.P., Cohen i in. 2005]. |
| **Konsylium** | Możliwość zastosowania twórczego, niestandardowego, podejścia. Możliwość przedyskutowania wariantów diagnozy i decyzji dotyczących terapii oraz eliminacji poglądów skrajnych. Szeroki zakres potencjalnych decyzji | Duże koszty, długi czas potrzebny na zorganizowanie konsylium, trudności w tworzeniu dokumentacji dyskusji uczestników konsylium, częsty brak jednoznacznej konkluzji |
| **Lekarz wspomagany przez MDSS** | Możliwość gromadzenia wszystkich info­rmacji w jednym miejscu z różnych dzie­dzin. Wiedza przetwarzana w sposób me­chaniczny. Lepsza diagnoza. Większa szybkość w podejmowaniu decyzji niż w przypadku braku wspomagania ich przez MDSS, usprawnienie pracy lekarza. | Duże koszty przygotowania systemu do użytku. Wymaga często żmudnego wprowadzania do baz wiedzy danych o pacjencie i wiedzy lekarskiej lub weryfikacji danych już istniejących w bazie wiedzy MDSS |
| **Autonomiczny MDSS** | Możliwość gromadzenia wszystkich informacji w jednej bazie danych. Wiedza przetwarzana w sposób w pełni zobiektywizowany. Większa szybkość i efektywność podejmowania decyzji. Usprawnienie aspektów decyzyjnych związanych z organizacją systemu służby zdrowia [Ruping Anguita, Bucur i in., 2013] | Wymaga wprowadzenia wiedzy i danych. Możliwe oparcie decyzji podejmowanych przez przez system o niekompletny zbiór danych. Wąski zakres diagnozy i wspomagania terapii przez każdy z systemów. |

*Źródło: opracowanie własne*

Wstępna analiza stanu wiedzy w zakresie medycznych SWD pozwoliła na wyodrębnienie dwóch ważnych trendów. Są to:

**Trend 1.** Duża i zwiększająca się wciąż wśród MDSS przewaga systemów wspomagania decyzji typu „*knowledge based*”, związana z większym w medycynie, niż w innych dziedzinach zastosowań znaczeniem reguł decyzyjnych.

Rysunek 1. Dane bibliometryczne (do roku 2013, przerywana linia) dotyczące ilości publikacji indeksowanych przez Web of Science dla MDSS i wśród nich systemów typu „knowladge based” oraz prognozy (od roku 2014) wykonane metodą szeregów czasowych ARIMA (źródło: badania własne w WoS 2016’03)

**Trend 2.** Zwiększający się udział decyzji lekarskich podejmowanych przy pomocy SWD.

W kolejnych rozdziałach przedstawimy szczegółowe zagadnienia związane z MDSS. W pierwszej kolejności omówiona zostanie klasyfikacja i trendy rozwojowe klinicznych systemów wspomagania decyzji (CDSS), uważanych często na najważniejszą podklasę MDSS.

# Klasyfikacja i historia CDSS

W niniejszym rozdziale przedstawimy aktualny stan rozwoju klinicznych systemów wspomagania decyzji (CDSS), które są systemami komputerowymi umożliwiającymi:

1. analizę wiedzy medycznej i zdobycie odpowiedzi na konkretne zapytania (odpowiedzi są następnie podstawą do podejmowania decyzji przez lekarza),
2. symulację podejmowania decyzji przez lekarza z uwzględnieniem indywidualnych preferencji użytkownika systemu i wskazanie gotowych rozwiązań problemu medycznego.

Podejmowanie decyzji, zarówno przez człowieka, jak i system informatyczny oparty na sztucznej inteligencji polega zawsze na analizie zgromadzonej wiedzy, która w przypadku medycznych DSS zawiera doświadczenia lekarskie, zwłaszcza zbiory historii chorób, informacje o dostępnych terapiach i farmaceutykach, bazy wiedzy anatomicznej, histopatologicznej, rejestry substancji chemicznych itp.

CDSS stanowią wynik syntezy nauk medycznych oraz szeroko pojętej informatyki, wraz z metodami eksploracji danych i sztucznej inteligencji, a także elektroniki i biotechnologii. Ostatnie z wymienionych są podstawą technik diagnostycznych dostarczających dane do analizy przez CDSS. Zakres funkcjonalności tej klasy systemów determinowany jest przez potrzeby medyczne (wspomagane procesu leczenia w lepszy sposób, bardziej wydajnie, kompleksowo, itd.) w kontekście ewolucji technologii społeczeństwa informacyjnego oraz wspomagających je dziedzin nauki.

Pierwsze aplikacje typu CDSS zaczęto wprowadzać w latach 60 i 70 ubiegłego wieku, wkrótce po tym, gdy na implementację medycznych SWD i SE pozwolił już ówczesny stan informatyki, telekomunikacji i technik pomiarowych, por. Tab. 2.

Tab. . Wybrane implementacje CDSS i ich charakterystyka

| **Lp.** | **System (nazwa)** | **Rok pow­stania** | **Charakterystyka informatyczna** | **Charakterystyka funkcjonalności** | **Zakres zastosowań** | **Bibliografia** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1. | Help, Help II i AAPHelp | 1972 | Naiwne metody Bayesa. | Diagnozowanie oraz dobranie odpowiedniego leczenia dla pacjenta. | Bóle brzucha. | De Dombal, Leaper, Staniland i in. (1972), Burke, Classen, Pestotnik i in. (1991) Moss i Brown (2009) |
| 2. | INTERNIST I | 1974 | Hierarchiczne bazy danych. | Wsparcie kompleksowego dia­gnozowania klinicznego złożo­nych problemów | Medycyna wewnętrzna | Pople, Myers, i Miller (1975), Miller, McNeil, Challinor i in. (1986) |
| 3. | CASNET | 1970 | Sieci przyczy­no­wo-skojarzeniowe  Oprogramowanie w języku FORTRAN | Diagnostyka i leczenie jaskry. | Jaskra | Weiss, Kulikowski, Safir, (1977) |
| 4. | MYCIN | 1976 | Wnioskowanie wstecz. Oprogramowanie w języku Lisp | Diagnostyka oraz dobór terapii dla pacjentów z chorobami związanymi z infekcjami krwi | Infekcje krwi | Shortliffe (1976) |
| 5 | PIP (Present Illness Program) | 1970 | Wiedza medyczna reprezentowana za pomocą sieci ramek. | Pozyskiwanie danych oraz dia­gnostyka | Procesy chorobowe u pacjentów z niewydolnością nerek | Pauker, Gorry, Kassirer i in. (1976), Szolovits i Pauker (1978) |
| 6. | ABEL | 1980 | Wnioskowanie przyczynowe | Diagnoza i terapia | Zaburzenia elektrolitowe i kwasowo-zasadowe | Ramesh (1981). Patil (1981), Patil, Szolo­vits, Schwartz (1982) |
| 7. | ONCOCIN | 1983 | Wnioskowanie wstecz, wniosko­wanie w przód | Używane do zarządzania pacjentami oraz do doboru leczenia chemioterapią | Choroby nowotworowe | Kahn, Ferguson, Shortliffe i in. (1985) |
| 8. | QMR, Quick Medical Reference | 1980 | Zintegrowane bazy wiedzy | Elektroniczny podręcznik, poś­rednie narzędzie badania po­wiązań pomiędzy danymi i wie­dzą zgromadzoną w bazie wie­dzy oraz program komplekso­wego wsparcia ekspertów na poziomie konsultacyjnym. | Medycyna ogólna | Lemaire, Schaefer, Martin i in.(1999) |
| 9. | DXplain | 1986 | Wnioskowanie bayesowskie | Diagnostyka na podstawie wprowadzonych danych, wspo­maganie zleceń dalszych obser­wacji i pomoc w podejmo­waniu ostatecznej diagnozy | Medycyna ogólna | Barnett Cimino Hupp i in. (1987) |
| 10 | ACORN | 1987 | Wnioskowanie bayesowskie | Diagnostyka bólu klatki piersiowej. | Medycyna wewnętrzna | Emerson, Wyatt, Dillistone i in. (1988) |
| 11 | Wizorder | 1989 | Zintegrowane bazy wiedzy, wnioskowanie bayesowskie | Pozyskiwanie danych i, wspo­maganie diagnostyki, zlecanie dalszych badań, wspomaganie doboru odpowiedniej terapii i dawki leków, głównie dla pa­cjentów z problemami chirur­gicznymi. Zastosowanie także w pediatrii. | Chirurgia, pediatria | [Geissbuhler](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Geissbuhler%20A%5Bauth%5D), Miller (1995) |
| 12 | POEMS | 1992 | Mechanizmy samouczące | Diagnostyka oparta o ciągły monitoring pacjenta i zalecenia terapeutyczne | Medycyna ogólna | Sawar, Brennan, Cole i in.(1992) |
| 13 | Sandia MediSim | 1998 | Systemy wirtual­nej rzeczywis­tości (*Virtual Reality*, VR) | Szkolenia z zakresu pierwszej pomocy na polu bitwy | Medycyna wojskowa | Stansfield, Shawver, Sobel (1998) |
| 14 | Isabel | 2001 | Zintegrowane bazy wiedzy, systemy elektronicznej dokumentacji medycznej (EMR) | Wspomaganie diagnozowania w różnych schorzeniach | Medycyna ogólna | <http://www.isabelhealthcare.com/home/default> |
| 15 | ACS NSQIP | 2010 | Bazy danych, modele statystyczne | Przewidywanie ryzyka związanego z przeprowadzeniem operacji (negatywne skutki, komp­likacje, powikłania poope­racyjne), przewidywanie długości hospitalizacji po zabiegu | Medycyna wewnętrzna, chirurgia | Ingraham, Bilimoria, Cohen i in. (2010), |
| 16 | Chronious | 2011 | Bazy danych, sys­temy elektro­nicz­nej dokumentacji medycznej, sys­temy alertowe, systemy eks­perckie, drzewa decyzyjne, sztuczne sieci neuronowe | Monitorowanie stanu zdrowia pacjentów cierpiących na choroby przewlekłe | Choroby przewlekłe | Bellos, Papadopoulos, Rosso i in.(2011), http://www.chronious.eu |
| 17 | Rx-decision | 2012 | Bazy danych | Wspomaganie pacjentów w USA w podjęciu optymalnej decyzji odnośnie wyboru opieki medycznej, ubezpieczenia oraz planu przyjmowanych lekarstw na receptę. | Medycyna ogólna | Anderson, Fadul, Menon i in. (2012) |

*Źródło: Opracowanie własne na podstawie http://www.openclinical.org/dss.html i literatury z kol.6*

W kolejnej Tab. 3 podana jest klasyfikacja CDSS oparta na ich funkcjonalnościach, oraz przegląd typowych systemów.

Tab. . Klasyfikacja CDSS

| **Lp.** | **Funkcjonal­ności CDSS** | **Przykłady zastosowań** | **Dziedzina medycyny** | **Bibliografia** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | Autonomiczne wyszukiwanie i prezentacja wie­dzy medycznej w systemach baz danych | System wspomagania procesu diagnostyki na Oddziale Pulmonologii greckiego szpitala w Patras (*Pulmonary Department, University Regional Hospital Patra*.) | Pulmono­logia | Economou i in. (2001) |
| Mobilny serwis do monitorowania poziomu stresu za pomocą przenośnego czujnika EKG. Na podstawie zebranych wyników tworzy ontologie i powiązania pomiędzy kon­kretnymi sytuacjami i zmianami rytmu serca. System może znacząco pomóc w wielu chorobach poprzez identyfikację czynników wywołujących stres i jedno­cześnie zaburzających pracę serca. | Psychiat­ria, kardiologia | Kim ,Youn Kim, i in. (2007) |
| System wspomagający interdyscyplinarny zespół lekarski w diagnozowaniu schorzeń i urazów. Poprzez zestawienie danych z różnych dziedzin medycyny wskazuje możliwe sposoby leczenia i późniejszej opieki medycznej pacjenta. | Medycyna ogólna | Romano i Stafford (2011) |
| 2 | Redukcja ilości wariantów możliwych diagnoz, wybór najbardziej prawdopodobnej diagnozy | System wspomagania decyzji oparty na sieciach neuro­nowych, którego celem jest dokładne i niezawodne diag­nozowanie przewlekłego zapalenia wątroby (CAH) i mar­skości wątroby (CRH). Zastosowana sieć neuronowa osiąga średnią dokładność klasyfikacji wynoszącą 95,23% | Gastrologia | [Karule, Dudul](http://ieeexplore.ieee.org/search/searchresult.jsp?searchWithin=%22Authors%22:.QT.Karule,%20P.T..QT.&newsearch=true) (2009) |
| System ekspercki służący do optymalizacji kosztów, dokładności i szybkości diagnostyki różnych chorób (zapalenia wątroby, chorób serca i tarczycy i in.) oparty na uczeniu maszynowym. | Kardio­lo­gia, gast­ro­logia, end­o­krynologia | Chi, Street i Katz (2010) |
| System wspomagania decyzji przeznaczony do zarzą­dzania terapią w klinice onkologicznej w Algierii, mający zastosowanie do analizy nowotworu części nosowej gardła u dorosłych. | Onkologia, laryngolo-gia | [Kerboua- Ziari](https://www.researchgate.net/researcher/2024200886_Yasmina_Kerboua-Ziari), [Benzaoui](https://www.researchgate.net/researcher/19531313_Ahmed_Benzaoui). i in. (2006) |
| System wspomagania leczenia hiperglikemii. Analizuje dawki leków podawane pacjentom i generuje odpowiednie ostrzeżenia i wskazówki odnośnie dalszego postępowania. | Diabetologia | Schuh  (2008) |
| Wielosensorowy system wspomagania decyzji umożli­wiający poprawienie wykry­walności potencjalnie nie­bezpiecz­nych zmian rytmu serca poprzez analizę info­r­macji kontekstowych o pacjencie zaimplementowany w Istituto di Calcolo e Reti ad Alte Prestazioni (ICAR-CNR). Wykorzystuje systemy regułowe. | Kardio­logia | Sannino i De Pietro (2011) |
| 3 | Redukcja ilości wariantów tera­pii, optymaliza­cja terapii | System planowania w służbie zdrowia (układanie grafików dla lekarzy i pielęgniarek) wykorzystujący narzędzia wspomagania decyzji. Zaimplementowane zostały algorytmy służące do umawiania wizyt i kolejkowania pacjentów ze względu na stan zdrowia. | Medycyna wojskowa, ratownictwo medyczne. | Riley (1999) |
| Prototyp inteligentnego, mobilnego systemu wspomaga­nia decyzji w selekcji rannych nazwanego "iTriage". Zaimple­mentowany na palmtopy. Prototyp został oceniony przez lekarzy klinicznych jako przydatny w podejmowaniu decyzji. | Medycyna ogólna, ratownictwo medyczne | Padmanab­han, Burstein, Churilov i in. (2006) |
| 4 | Wspomaganie wyboru kom­promisu pomię­dzy spodziewa­nymi efektami terapii, a skut­ka­mi ubocznymi | System wspomagania decyzji planowania szpitali polowych z uwzględnieniem typu katastrofy, miejsca, ilości poszkodowanych osób oraz wolnych miejsc w lokalnych szpitalach. System określa wymagania techni­czne oraz wsparcie technologiczne dla tego typu szpitali. | Ratownictwo medyczne | Dori, Iadanza i Miniati (2007) |
| Model wspomagania decyzji w walce z otyłością, który jest w stanie zaprojektować strategię opartą na preferencjach konkretnej osoby. Omawiany system jest modularny, w związku z czym pozwala na dodanie innych czynników takich jak stres, motywacja i czynniki emocjonalne. | Bariatria | Bacioiu i Pasek (2011) |
| 5 | Zarządzanie i usprawnienie działania szpi­ta­li i ratownictwa medycznego | System wspomagania decyzji służący do przewidywania wysokiego zapotrzebowania na miejsca w szpitalach i innych instytuc­jach ochrony zdrowia spowodowanego zanieczy­szczeniem środowiska. System estymuje prze­widywane przyjęcia do placówek poprzez analizę da­nych histo­rycznych dotyczących liczby przyjęć pac­jen­tów oraz na podstawie danych dziennej średniej koncen­tracji zanieczyszczeń (pozyskaną z sieci sensorów). | Medycyna ogólna | Toscani, Archetti, Quarenghi I in. (2010) |
| System wspomagania decyzji, który kontroluje sesje szkoleniowe dla pacjentów. Szkolenia nadzorowane przez lekarzy pomagają w rehabilitacji pacjentów dotk­niętych przewlekłą obturacyjną chorobą płuc (COPD). Z powodu ograniczonych środków nie wszyscy pacjenci mogą zostać przeszkoleni przez eksperta, a stworzone oprogramowanie samodzielnie kontroluje sesje trening­owe przeprowadzane na rowerach z wbudowanym ergometrem (przyrządem do pomiaru pracy mięśni). | Pulmono­logia | [Song](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Song%20B%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=20011809), [Wolf](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Wolf%20KH%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=20011809) , Gietzelt i in. (2009) |
| System wspomagania decyzji sprzężony z elektroniczną kartoteką medyczną (EMR), który może przewidywać ryzyko wystąpienia retinopatii cukrzycowej u pacjentów cierpiących na cukrzycę typu I. System przechowuje informacje dotyczące stanu zdrowia pacjenta i na bieżą­co udostępnia lekarzom przewidywania dotyczące możliwych komplikacji. System jest infrastrukturą hyb­rydową łączącą w sobie cztery modele klasyfikacji. Zo­stał przetestowany w szpitalu w Atenach na 55 pacjen­tach, Poprawność przewidywań systemu wynosiła 98%. | Diabetolo-gia | Skevofila­kas, Zarkogianni, Karamanos i in. (2010) |
| System zarządzania karetkami pogotowia ratunkowego, oparty na systemach wielo­agentowych. Na podstawie przeprowadza­nych symulacji podejmowana jest decyzja, o przyporządkowaniu pacjentów do najbardziej odpowiednich karetek. | Ratownictwo medyczne | Shaft i Cohen (2013) |

*Źródło: opracowanie własne*

Na podstawie przeglądu CDSS w Tab. 2 i Tab. 3 można zidentyfikować kilka dalszych ilościowych i jakościowych trendów rozwoju CDSS, takich jak np. wzrost trafności diagnozy. Trendy te są zależne od ogólnego rozwoju medycznych systemów informacyjnych i powinny być przedmiotem dalszych badań.

**Trend 3.** Diagnozy stawiane przez lekarzy korzystających z pomocy CDSS są obarczone coraz mniejszym błędem.

**Trend 4.** Zakres stosowania CDSS do celów diagnostycznych obejmuje coraz więcej dziedzin medycyny.

Rysunek 2. Dane bibliometryczne dotyczące liczby dziedzin medycyny (brane pod uwagę były dziedziny w których liczba publikacji indeksowanych przez Web of Science dla zapytania „CDSS” była większa od 4) Źródło:Web of Science, opracowanie własne, 2016.05

# Taksonomia medyczna, a MDSS

Standaryzowana terminologia oraz sposoby zapisu informacji medycznych, ugruntowane przez wielowiekową tradycję lekarską ułatwiają translację większości czynności związanych z zastosowaniem MDSS i innych narzędzi e-zdrowia do postaci formalnych procedur decyzyjnych i konsultacyjnych wykonywanych przez CDSS lub przy wykorzystaniu CDSS. Ujednolicona terminologia pozwala także na stosowanie metod formalnych w pozostałych działach służby zdrowia, gdzie stosowane są inne klasy MDSS.

Obecnie w użyciu jest głównie nomenklatura SNOMED (*Systematized Nomenclature of Medicine*) Aktualna wersja to SNOMED CT ([www.ihtsdo.org/snomed](http://www.ihtsdo.org/snomed)). SNOMED wprowadzony został przez The College of American Pathologists (CAP), następnie prawa do zarządzania tą nomenklaturą zostały wykupione przez międzynarodową organizację non-profit IHTSDO (*International Health Terminology Standards Development Organisation*) z siedzibą w Danii. Od tej pory IHTSDO zarządza wszelkimi prawami do terminologii [SNOMED CT](http://ihtsdo.org.srv4.t3t.dk/snomed-ct/) i do wersji wcześniejszych (SNOMED, SNOMED II, SNOMED RT). Obecnie SNOMED CT obejmuje ok. 340 000 pojęć klinicznych, które pokrywają praktycznie wszystkie dziedziny medycyny.

Innymi słownikami medycznymi istotnymi z praktycznego punktu widzenia jest rodzina klasyfikacji WHO (World Health Organization). Najbardziej znanym jej przedstawicielem jest – stosowana również w Polsce – Międzynarodowa Statystyczna Klasyfikacja Chorób i Problemów Zdrowotnych ICD (obecnie w wersji ICD-10), por. Rysunek 4.



Rysunek 4. Aktualna klasyfikacja schorzeń i problemów zdrowotnych wg “International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems”   
(wg <http://www.who.int/classifications/icd>, dostęp 02’2013)

Wymienić należy także standardowe słowniki niezwiązane bezpośrednio z WHO, takie jak:

* LOINC (*Logical Observation Identifiers Names and Codes*), LOINC® - standard wyników laboratoryjnych w formie bazy danych w MS Access, które można pobrać bezpłatnie ze strony (<https://loinc.org/downloads>),
* HL7, HL-7-Lint – narzędzia do sprawdzania poprawności edycji reguł w standardzie HL7 RXnorm (słownik leków) - stosowane w rozliczeniach z płatnikami ([www.hl7.org](http://www.hl7.org), dostęp 01’2013),
* wykazy jednorodnych grup pacjentów DRG (*Diagnosis Related Groups*) - katalogi świadczeń szpitalnych tworzone na własne potrzeby placówek lub towarzystw ubezpieczeniowych. (<https://en.wikipedia.org/wiki/Diagnosis-related_group>, dostęp 01’2013)

Dzięki powstaniu nowych metod sztucznej inteligencji, zwłaszcza ontologicznych baz danych, reprezentacji wiedzy i automatycznego wnioskowania, możliwa jest implementacja aplikacji medycznych, w tym zwłaszcza MDSS, połączonych z bazą wiedzy wykorzystującą powyższe standardowe taksonomie podczas autonomicznego rozwiązywania standardowych problemów i wspomaga­nie personelu medycznego poprzez propozycje diagnoz i terapii (CDSS) oraz formułowanie porad dla pacjentów (inne MDSS).

# Medyczne systemy eksperckie

Medyczne systemy eksperckie (MSE) są aplikacjami przeznaczonymi do rozwiązywania specjalistycznych problemów wymagających profesjonalnej wiedzy medycznej i przetwarzania dużej ilości złożonej informacji. Są one zorganizowane z reguły w ten sposób, że wiedza dotycząca danej dziedziny jest zgromadzona w specjalistycznej bazie wiedzy złożonej z modułów tematycznych, które mogą być dołączane, usuwane lub wymieniane. Procedury i parametry analitycznej części systemu powinny być w największym możliwie stopniu uniwersalne.

Określenie „system ekspercki” (SE, w literaturze stosowane jest również określenie „ekspertowy”) może być zastosowane do dowolnego programu komputerowego, który na podstawie szczegółowej wiedzy zgromadzonej w odpowiednio strukturyzowanej bazie może:

* wyciągać wnioski,
* wspomagać lub podejmować decyzje,
* automatycznie aktualizować i weryfikować przetwarzane informacje działając w sposób zbliżony do procesu rozumowania człowieka.

System ekspercki najczęściej wspomaga, rzadziej zastępuje eksperta-człowieka.

We wczesnych fazach rozwoju systemy decyzyjne opierały się na zdefiniowanej bazie reguł, często w postaci kodu typu if-then-else. Dzięki wydzieleniu reguł logicznych poza warstwę kodu, w prosty sposób można było modyfikować zachowanie systemu bez potrzeby jego rekompilacji, co umożliwiło również szybkie tworzenie prototypów takich systemów. Jednym z pierwszych wykorzystywanych w medycynie systemów eksperckich był „Mycin” (zob. Tab. 2) stworzony w latach 70 w LISPie. Jego zadaniem było diagnozowanie bakteryjnej choroby krwi na podstawie zestawu reguł. System ten prowadził dialog z lekarzem w celu pozyskania wiedzy na temat badanej próbki krwi, wynikiem były wnioski wyciągnięte przez system na podstawie udzielonych odpowiedzi.

Poniżej podajemy podstawowe elementy taksonomii MDSS.

## 5.1 Klasyfikacja systemów eksperckich

**Systemy doradcze** – w oparciu o bazę wiedzy prezentują rozwiązania dla użytkownika, który jest w stanie ocenić ich jakość. Użytkownik może odrzucić rozwiązanie oferowane przez system i zażądać innego rozwiązania.

**Systemy diagnostyczne** – podklasa systemów doradczych, ich zadaniem jest prezentacja wyników wnioskowania bez wskazywania sposobów dalszego postępowania. Użytkownik sam podejmuje decyzje

**Systemy wspomagania decyzji oparte na regułach (*rule-based Decision Support Systems*)** – podklasa systemów doradczych, gdzie zbiór alternatyw i kryteria wyboru poddają się formalizacji (Uwaga: DSS bez bazy wiedzy nie są na ogół traktowane jako SE).

**Systemy podejmujące decyzje bez kontroli człowieka** **(**Autonomiczne DSS, ADSS, autonomous artificial decision systems, AADS, por. Skulimowski, 2014**)** są używane np. do sterowania różnymi obiektami, gdzie udział człowieka jest utrudniony lub niemożliwy. Systemy takie klasyfikowane są jako eksperckie, gdyż w swojej strukturze zawierają regułową bazę wiedzy, która służy do wyboru decyzji.

**Systemom weryfikacyjnym (krytykującym)** jest przedstawiany problem oraz jego rozwiązanie. System dokonuje w tym przypadku analizy zastosowanej procedury decyzyjnej, po czym ocenia uzyskane rozwiązanie.

Konstrukcja właściwej bazy wiedzy jest podstawą poprawnego funkcjonowania systemu eksperckiego. Wymaga ona wyboru odpowiednich faktów z dziedziny działania systemu, eliminacji niewiarygodnych informacji i wyboru odpowiedniej struktury dla tych faktów, a także uniknięcia błędów w architekturze informatycznej bazy. Zgodnie z wymaganiami metodologii EBM (*Evidence Based Medicine, http://ebm.org.pl*), która w Polsce znana jest jako POWAP (*Praktyka Oparta na Wiarygodnych i Aktualnych Publikacjach*), lekarz powinien podejmować decyzje kliniczne na podstawie aktualnego stanu medycznych badań naukowych oraz najlepszych praktyk opisanych w dostępnych publikacjach i bazach wiedzy. Możliwe jest to m.in. dzięki dostępowi do elektronicznych baz medycznych (np. MEDLINE, EMBASE). Niektóre medyczne systemy informacyjne są ogólnodostępne w Internecie, np. MEDISYS na stronie <http://medusa.jrc.it/medisys/homeedition/pl/home.html>.

## 5.2 Medyczne systemy wspomagania decyzji oparte na wiedzy (*Knowledge-Based MDSS*)

Systemy *Knowledge Based* to typowe systemy eksperckie składające się z silnika inferencji i bazy wiedzy oraz interfejsu do komunikacji z użytkownikami. Jako *Knowledge- Based* określa się też systemy wspomagania decyzji (*Knowledge-Based DSS,* por. Czerni i in., 2010,), które wykorzystują regułową bazę wiedzy. Analogicznie definiuje się medyczne DSS oparte na zasadzie „*Knowledge-Based*” – określenie to zakłada, że muszą one zawierać medyczną bazę wiedzy.

W systemach MDSS klasy *knowledge based* wykorzystuje się medyczne bazy wiedzy opisane w kolejnym podrozdziale.

## 5.3 Zastosowanie baz wiedzy w MDSS

W systemach wspomagania decyzji opartych na wiedzy, zwłaszcza w systemach z regułową bazą wiedzy, można wyróżnić klasyczne elementy systemu eksperckiego, którymi są:

* Baza wiedzy (np. zbiór reguł decyzyjnych, historie chorób, dokumentacja znanych medycynie epidemii, farmaceutyki); zazwyczaj wiedza ta dotyczy jedynie pewnej wąskiej dziedziny medycyny, natomiast reguły podejmowania decyzji mogą mieć charakter bardziej ogólny. Informacje te przechowywane na ogół w systemie heterogenicznych baz danych, są one podstawą do tzw. wnioskowania maszynowego prowadzonego przez kontrolera wywodu.
* Interfejs SE odpowiada za komunikację z użytkownikiem (procedury Wejścia-Wyjścia) i w swojej strukturze może posiadać zaawansowane mechanizmy weryfikacji, filtracji i innego rodzaju przetwarzania i/lub wizua­lizacji danych. Interfejsy mogą być oparte na różnych sposobach komuni­kacji, także przy pomocy bezpośredniego połączenia mózgowego (BCI). Obecne interfejsy uwzględniają najczęściej wymagania urządzeń mobilnych.
* Kontroler wywodu (KW) jest jednym z najważniejszych choć niekoniecznie jedynym , spośród mechanizmów analitycznych stosowanych w medycznych SE,. KW przetwarza jednocześnie strumień zewnętrznych danych i reguły wnioskowania, tzw. *production rules,* otrzymując kolejne fakty, które mogą być dalej przetwarzane, aż do osiągnięcia zadowalającego rozwiązania problemu. O osiągnieciu takiego stanu zadecydować może zarówno użytkownik, jak i sam SE autonomicznie, przy pomocy kryterium stopu wbudowanego albo w kontroler wywodu, albo w tzw. silnik decyzyjny (por. niżej). Ten sam kontroler wywodu może współpracować z różnymi bazami wiedzy z wielu dziedzin.

Cechą szczególną MDSS wyposażonych w regułowe bazy wiedzy jest możliwość budowy rankingów wariantów decyzyjnych, rekomendacji oraz poszukiwania decyzji kompromisowych w wielokryterialnych medycznych problemach decyzyjnych w oparciu o przechowy­wane w bazie wiedzy reguły.

* Powyższe funkcje są realizowane przez tzw. *silnik analizy decyzyjnej*, zawierający algorytmy rankingowe, klasyfikacyjne i wielokryterialnej analizy i wspomagania decyzji. Wykorzystanie regułowych DSS, wyposażonych również w silniki decyzyjne, prowadzi do coraz lepszych wyników ze względu na połączenie wiedzy i doświadczenia lekarza z wzrastającymi możliwościami tych systemów.

Rysunek 5. Trend bibliograficzny systemów CDSS na tle metod i technik „odkrywania wiedzy” użytkowanych w DSS. Ekstrapolacja metodą trendu adaptacyjnego, dwukrotne wygładzanie eksponencjalne. Źródło: Microsoft ASN (2010), opracowanie własne

# Podstawowe metody analityczne i obszary badawcze związane z eksploracją danych na potrzeby MDSS

## 6.1 Systemy *Data Driven*, metody eksploracji danych (*Data Mining*)

Przez „Eksplorację danych” rozumie się najczęściej zbiór metod analitycznych stosowanych do wykrywania prawidłowości w dużych zbiorach lub strumieniach danych oraz do ich dalszej analizy. Do metod *data mining* zaliczane są również metody klasyfikacji oparte o dane pomiarowe. W medycynie, gdzie diagnoza polega na przyporządkowaniu objawów opisanych w historii choroby zawartej w rekordzie pacjenta w medycznej bazie wiedzy (Electronic Health Record, EHR) do jednostek chorobowych, systemy data-driven należą do podklasy systemów diagnostycznych.

## 6.2. Metody klasyfikacji danych diagnostycznych

### Metody k-średnich i rozmytych k-średnich (*k-means* i *fuzzy k-means*)

Są grupą metodami stosowanymi w klasteryzacji, czyli technice redukcji wymiaru danych poprzez podział na parami rozłączne grupy (klastry). Metoda k-means polega na pogrupo­waniu danych na k klastrów w taki sposób, by zminimalizować sumę błę­dów kwadratowych klastrów (tzw. wariację wewnątrzklastrową). Błąd kwadratowy klastra jest sumą kwadratów odległości elementów należących do danego klastra od jego skupienia (w tym przypadku średniej arytmetycznej ze wszystkich elementów należących do danej grupy). Metoda fuzzy k-means różni się od metody k-means, tym, że nie przypisuje elementów do określonego klastra, lecz określa prawdopodo­bieństwo ich przynależności do różnych klastrów (Hartigan, Wong; 1979). Metody te stosowana są w diagnostyce medycznej oraz w doborze odpowiedniej terapii.

### Metoda wektorów nośnych (Support Vector Machine, SVM)

Metoda ta, opracowana przez Vapnika i in. (Boser, Guyon, Vapnik, 1997) polega na wyznaczeniu hiperpłaszczyzny (podprzestrzeni o maksymalnym wymiarze) przestrzeni cech, dzielącej zbiór *N*-wymiarowych danych na podzbiory odpowiadające poszczególnym klasom. Na podstawie informacji zebranych w fazie treningu, algorytm SVM przyporządkowuje kolejne elementy do jednej z dwóch kategorii. Jest to model uczenia nadzorowanego (tj. zakładającego udział „nauczyciela” nadzorującego przetwarzanie wejścia na wyjście podczas uczenia się). Metoda ta stosowana jest często w diagnostyce medycznej, nie jest tam jednak metodą jedyną.

### Analiza składowych głównych (Principal Component Analysis, PCA)

Analiza składowych głównych jest jedną z metod analizy czynnikowej, często stosowanych w informatyce medycznej. Jej celem jest redukcja liczby zmiennych niezależnych w modelach dyskryminacyjnych stosowanych w diagnostyce oraz w regresji. Redukcja liczby zmiennych prowadzi do zmniejszenia rozmiaru zbioru danych pomiarowych niezbędnych do postawienia diagnozy. Podczas analizy prowadzonej metodą ortonormalizacji (np. Grama – Schmidta), z dużej liczby badanych zmiennych otrzymuje się mniejszą liczbę nieskorelowanych czynników. Dzięki temu uzyskuje się zmniejszenie rozmiaru zbioru danych przy zachowaniu informacji zawartej w danych pierwotnych.

## 6.3 Techniki analizy i przetwarzania medycznych obrazów cyfrowych

Techniki analizy i przetwarzania obrazów medycznych opierają się na zastosowaniu różnego rodzaju transformacji, filtrów oraz metod detekcji w celu przetworzenia obrazu w taki sposób, aby uzyskać użyteczną informację na temat interesujących nas obiektów (por. np. Ogiela i Tadeusiewicz, 2010). Przetworzona medyczna informacja wizyjna może być łatwiejsza do przetwarzania w medycznych bazach wiedzy. Celem takiej analizy może być np. wykrycie określonych zmian fizjologicznych lub patologicznych na obrazach medycznych, uzyskanych dzięki rezonansowi magnetycznemu, prześwietleniom promieniowaniem rentgenowskim czy USG. W oprogramowaniu stosującym metody sztucznej inteligencji, obrazy cyfrowe powstałe dzięki wspomnianym wyżej technikom są następnie przetwarzane do postaci umożliwiającej zastosowanie metod automatycznego rozpoznawania obrazów. W przypadku obrazów medycznych zadanie to polega na wyodrębnieniu cech i /lub elementów obrazu decydujących o zaliczeniu odpowiadającego mu przypadku medycznego do określonej jednostki diagnostycznej.

## 6.4 Techniki symulacji w medycznych SWD

Techniki symulacji mogą być przydatne w modelowaniu wpływu planowanej do zastosowania terapii w sytuacji, gdy brak akceptowalnego modelu, lub gdy wpływ czynników stochastycznych lub nieznanych jest dominujący, por. np. Riley (1999). Przykładami zastosowań takich technik może być modelowanie interakcji różnych leków, gdy ilość danych pochodzących z badań klinicznych lub historii chorób jest niewystarczająca.

W symulacji modeli epidemiologicznych stosuje się często systemy wieloagentowe (*multi-agent systems*, <https://en.wikipedia.org/wiki/Multi-agent_system> [dostęp 03’2013]). Są to systemy złożone z komunikujących się i współpracujących między sobą agentów, realizujących wspólne cele. Agentem nazywamy autonomiczny system informa­tyczny umożliwiający rozwiązywanie problemów, w szczególności problemów rozproszonych lub charakteryzujących się dużą złożonością obliczeniową.

Coraz częściej w zastosowaniach medycznych pojawiają się metody oparte o systemy zdarzeń dyskretnych (Discrete-Event Systems, DES, por. Skulimowski, 1991). Są one szczególnie przydatnym narzędziem w symulacji systemu pacjent-terapia.

## 6.5 Metody strukturyzacji procedur decyzyjnych

Poniżej przedstawimy kilka najważniejszych grup metod analizy decyzyjnej, które stosowane sa w MDSS.

### Drzewa decyzyjne (Decision trees)

są metodą polegającą na przedstawieniu drzewa decyzji (możliwych zdarzeń i zjawisk) wraz z prawdopodo­bieństwami ich zajścia, zależnościami warunkowymi oraz konsekwencjami, a także z kosztami związanymi wyborem wariantów (<https://en.wikipedia.org/wiki/Decision_tree>, dostęp 03’2010) w postaci listy następników, lub graficznie. Technika drzew decyzyjnych łączona jest często z innymi metodami analizy decyzyjnej i zarządzania niepewnością. Np. Levashenko i Zaitseva (2012) używają drzew decyzyjnych z logiką rozmytą do diagnostyki nowotworu piersi.

### Wielokryterialna analiza decyzji

W medycynie podjęcie decyzji może wiązać się z poważnymi konsekwencjami, dlatego coraz częściej podczas wyboru stosowane są metody systematyzacji procesu decyzyjnego oparte o teorie decyzji i użyteczności, w tym zwłaszcza o wielokryterialną teorię decyzji, analizę i optymalizację wielokryterialną. Potrzeba taka wynika też z faktu, że medyczny problem decyzyjny jest zazwyczaj wielokryterialny, co oznacza, że wybór jest dokonywany na podstawie wielu kryteriów, a nie jednego, jak ma to miejsce w optymalizacji skalarnej.

Celem wielokryterialnej analizy decyzji jest wsparcie decydentów w rozwiązywaniu takich problemów, gdzie preferencje decydenta opisywane są przez dwa lub więcej niezależnych kryteriów. Wtedy z reguły nie istnieje jedno optymalne rozwiązanie, lecz tzw. zbiór niezdominowanych rozwiązań, z którego należy wybrać najlepszą alternatywę pod względem dodatkowych preferencji lub po narzuceniu dodatkowych ograniczeń i przekazaniu przez decydenta innych informacji istotnych dla wyboru rozwiązania, np. ograniczenia na czas podejmowania decyzji. Można także przeprowadzić dalszą analizę zbioru dostępnych rozwiązań, co często sprawia duże trudności w szczególności w sytuacji, gdy cel podjęcia decyzji jest abstrakcyjny lub złożony. Szczegółowa prezentacja metod wielokryterialnego wspomagania decyzji wykracza poza zakres niniejszego opracowania, opis metod istotnych dla medycznych systemów podejmowania decyzji podany jest m.in. w książkach Skulimowski (1996, 2013), Kaliszewski (2008).

Charakterystycznym przykładem medycznego zastosowania metod wielokryterialnej analizy decyzji jest metoda doboru terapii dla danego pacjenta. Lekarz na podstawie stanu zdrowia oraz wyników badań pacjenta podejmuje decyzję o strategii leczenia. Komputerowy system wspomagania decyzji, wspomagający dobór terapii, korzystający m.in z metod optymalizacji wielokryterialnej weryfikuje strategię i sugeruję terapię. W rzeczywistym przypadku zastosowania takiego systemu w jednej z krakowskich przychodni dermatologicznych (inf. wł., 2007), na 10 leczonych pacjentów w 7 przypadkach chorych na zakażenia brodawczakiem została zalecona identyczna terapia, co wskazana przez lekarza prowadzącego. W przypadku pozostałych trzech osób system podjął inną decyzję, a lekarz nadzorujący eksperyment nie zmienił tych zaleceń jako równoważnych lub nawet lepiej rokujących. *Ex post*, terapie polecane przez system okazały się równie skuteczne, co terapia zalecona przez lekarza, ale jednocześnie charakteryzowała się mniejszym kosztem oraz mniejszymi skutkami ubocznymi. W podanym wyżej przykładzie podkreślone cechy terapii stanowią jednocześnie kryteria jej wyboru, zgodnie z ideą analizy wielokryterialnej. Wybrana terapia stanowi natomiast przykład rozwiązania niezdominowanego, tj. takiego, że nie można już polepszyć wartości żadnego z kryteriów, tak aby nie pogorszyć wartości przynajmniej jednego z pozostałych (por. Rozdz. 12 niniejszego raportu).

## 6.6 Zarządzanie niepewnością

Opis niepewności w klasycznym podejściu do formułowania i rozwiązywania problemów informatyki i statystyki medycznej opiera się na metodach rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej. Coraz częściej jednak stosowane są inne model niepewności, które zyskały popularność w badaniach związanych z problematyka sztucznej inteligencji. Najważniejsze z nich podane są niżej.

### Zbiory rozmyte

W sytuacji, gdy brak możliwości jednoznacznego stwierdzenia, czy dane fakty są prawdziwe, czy fałszywe (wiedza niepewna) oraz gdy dostępna wiedza jest niepeł­na, niedokładna lub nieprecyzyjna, logika dwuwartościowa często zawodzi. Z tego względu powstała potrzeba opracowania nowych formalizmów, z których w medycz­nych SWD najczęściej stosowana jest teoria zbiorów rozmytych, zaproponowana przez Zadeha (1975). Pojęciami pokrewnymi dla zbiorów rozmytych jest logika rozmyta oraz zmienne lingwistyczne (Zadeh 1975). Dla przykładu, Schuh (2008) proponuje wykorzystanie systemów informatycznych opartych na teorii zbiorów rozmytych do wspomagania leczenia hiperglikemii w cukrzycy typu II. Opisany system analizuje kolejne dawki leków podawanych pacjentom i generuje odpowiednie ostrzeżenia i wskazówki odnośnie dalszego postępowania. Po prze­prowadzeniu eksperymentów klinicznych zauważono, że postępując zgodnie ze wskazówkami programu, pacjenci szybciej osiągali docelowy poziom stężenia glukozy we krwi.

### Zbiory przybliżone (Rough sets)

Twórcą teorii zbiorów przybliżonych jest polski uczony, Prof. Zdzisław Pawlak, a inspiracją i pierwszymi zastosowaniami tej teorii była przybliżona klasyfikacja stosowana w diagnostyce medycznej, por. Pawlak (1982, 1997). Zbiory przybliżone tworzone są jako aproksymacje z góry (nadzbiory) i z dołu (pozdbiory) klas abstrakcji relacji równoważności analizowanego problemu klasyfikacji. Zastosowania teorii zbiorów przybliżonych w diagnostyce medycznej i w medycznych DSS są tematem wielu publikacji polskich autorów, por. np. Pawlak, Grzymała-Busse, Słowiński, Ziarko (1995), Słowiński, Stefanowski, Siwiński (2002). Prace te posiadają wiele cytowań w literaturze światowej (poz. pierwsza powyżej 300), por. np. Yang, Wu (2009).

### Teoria Dempstera-Shafera (teoria możliwości, possibility theory)

Teoria została opisana przez G. Shafera (1976) ale przez to, że jest ona rozszerzeniem pewnych zagadnień wnioskowania statystycznego opisanego przez A.P Dempstera (1967) nazywana jest teorią Dempstera-Shafera. Metoda ta polega na przypisaniu prawdopodobieństw prawdziwości wybranym twierdzeniom bazowym. Pozostałym twierdzeniom prawdopodobieństwo wiarygodności przypisywane jest na podstawie ich związków ze stwierdzeniami bazowymi. Teoria ta jest wygodna w zastosowaniach dotyczących diagnozowania medycznego ze względu na ignorowanie zależności objawów por. Straszecka (2008)

### Logika wielowartościowa

Logika wielowartościowa jest rodzajem rachunku zdań, w którym przyjmuje się więcej niż dwie wartości logiczne (Malinowski 2006). Pierwszą sformalizowaną logiką wielowartościową była logika trójwartościowa opisana przez Łukasiewicza (1920), która oprócz wartości logicznej 1 (prawda) i wartości logicznej 0 (fałsz) ma dodatkową wartość logiczną oznaczaną jako ½ (możliwość). Później Łukasiewicz i Tarski (1930) uogólnili konstrukcję na więcej niż 3 wartości logiczne. Manikas, Feinstein i Thornton (2012) wykorzystali logikę wielowartościową do modelowania zagrożeń systemów medycznych, które obejmowały m.in. awarie komponentów, błędna diagnoza pacjenta, z błędy w doborze i podawaniu leków.

### Sieci bayesowskie

Siecią bayesowską nazywamy niezawierający cykli graf skierowany, którego wierzchołki reprezentują zmienne losowe, a łuki związki probabilistyczne pomiędzy tymi zmiennymi. Sieci te nazywane są bayesowskimi ze względu na kluczową rolę, jaką w nim pełni wzór Bayesa. Mechanizm wnioskowania bayesowskiego polega na określeniu prawdopodobieństw „a priori” każdej hipotezy oraz prawdopodobieństw warunkowych a następnie na tej podstawie wyznaczenia prawdopodobieństw a posteriori dowolnych hipotez. Prawdopodobieństwa te stanowią reprezentację niepewnej wiedzy o dziedzinie wnioskowania, która musi być dostarczona systemowi wnioskującemu.

## 6.7 Zastosowania sztucznych sieci neuronowych w MDSS

Sztuczne sieci neuronowe znajdują szerokie zastosowanie w systemach informatyki medycznej, m.in. do diagnostyki, rozpoznawania obrazów medycznych, analizy wariantów terapii w systemach wspomagania decyzji, prognostyki medycznej i in. Procedury realizowane przez sieci neuronowe charakteryzują się dużą elastycznością związaną z procesem uczenia, co jednak prowadzi jednocześnie do słabej przewidywalności działania sieci.

Idea wykorzystania do obliczeń sztucznych sieci neuronowych (*Artificial Neural Networks, ANN*) opiera się na modelu matematycznym biologicznych sieci neuronów, a w szczególności na słynnym modelu neuronu McCullocha i Pittsa (1943), którzy po raz pierwszy podali równania w sposób adekwatny opisujące funkcjonowanie komórek nerwowych i ich sieci. Bardziej adekwatny opis neuronu przy pomocy układu równań różniczkowych podali Hodkin i Huxley (1952), jednak opis ten nie jest na ogół wykorzystywany w ANN.

Sztuczna sieć neuronowa składa się z dużej liczby neuronów o strukturze warstwowej. Wyróżnia się warstwę wejściową, wyjściową oraz warstwy ukryte (tych ostatnich może nie być, jednak każda sztuczna sieć neuronowa powinna posiadać przynajmniej warstwy wejściową i wyjściową). Stosowane są zarówno klasyczne sieci perceptronów, proste (*feedforward*) i ze sprzężeniami zwrotnymi (czyli ze wsteczną propagacją błędu, ang. *backpropagation*), jak i nowe architektury neuronowe, zwłaszcza sieci Kohonena (1982, 2001), tzw. sieci samoorganizujące się, Te ostatnie sa szczególnie przydatne w problemach uczenia (w tym np. klasyfikacji) bez nadzoru (*unsupervised learning*). Obecnie popularne stają się sieci wielowarstwowe (powyżej 5 warstw) ze sprzężeniami zwrotnymi, a ich zastosowania określa się wspólna nazwą „*deep learning*”.

Sztuczne Sieci Neuronowe stosowane są w wielu MDSS (por. np. Berner, La Lande; 2007), jednak ich zastosowanie jest utrudnione przez często długi i pracochłonny proces ich konfiguracji, wymagający często pomocy ekspertów z zakresu sztucznej inteligencji. Dlatego też podejmowane są próby automatyzacji konfiguracji sieci neuronowych, m.in. poprzez zastosowanie algorytmów genetycznych i ewolucyjnych (por. np. Tadeusiewicz, Leper, Borowik, Gąciarz, 2007, s. 84; Olszewski, Boniecki, Weres. 2005). Carroll, Biondich, Anand i in. (2011) zaproponowali rozwiązanie automatyzacji etapu konfiguracji poprzez zastosowanie algorytmów genetycznych (AG) (zob . Tab.5, System CHICA).

Odpowiednio skonfigurowane Sztuczne Sieci Neuronowe wdrożono np. w systemie przewidywania przeżywalności pacjentów cierpiących na zaawansowanego raka pęcherza moczowego po zabiegu radykalnej cystektomii (całkowite usunięcie pęcherza moczowego, por. Vukicevic, Jovicic, Stojadinovic i in., 2014). Lee i Wang (2010) opisali natomiast sztuczną sieć neuronową wykorzystującą logikę rozmytą do diagnostyki i leczenia cukrzycy. .

Kolejnym przykładem skutecznego wykorzystania sieci neuronowych w medycynie są systemy wspomagające diagnostykę nowotworów (69 publikacji w Web of Science dla zapytania *"Cancer diagnosis" AND "Artificial Neural Networks"* do roku 2009, pierwsza w 1997), w tym zwłaszcza diagnozę raka piersi dzięki efektywnej analizie mammogramów (Cheng i in., 2006). Chen i Joo (2012) korzystają z formalizmu zbiorów rozmytych w implementacji systemu opartego na rozmytych sieciach neuronowych dokonującego diagnozy raka piersi. W cytowanej wyżej publiakcji wspominają również o zastosowaniu ANN do diagnozowania choroby Parkinsona. Wyatt i Spiegelhalter (1991) wykorzystują model sieci impulsującej PCNN (*Pulse Coupled Neural Network –* model sieci wzrokowej kota) do detekcji guza mózgu na obrazach pochodzących z rezonansu magnetycznego (MRI). Wykorzystana sieć jest zoptymalizowana pod kątem wygładzania obrazów MRI, segmentacji oraz ekstrakcji cech. Wykorzystanie propagacji wtórnej (*backpropagation*) umożliwia dokładne filtrowanie oraz segmentację dwuwymiarowych sekwencji obrazów MRI. W fazie przetwarzania wstępnego obrazu sieć niweluje ilość artefaktów. Po wyłączeniu z obrazu interesujących cech następuje segmentacja. Badania te wykazały zasadność zastosowanie PCNN do analizy obrazów medycznych otrzymanych z MRI oraz wyciągania wniosków na ich podstawie.

Wśród publikacji opisujących zastosowania sieci neuronowych w latach 1995-2010 (wg WoS) około 10-15% poświęconych jest nienadzorowanym procesom uczenia w oparciu o sieci samoor­ganizujące się SOM (*Self Organising Map*, sieć Kohonena). Metodę wykorzystuje się np. do diagnozy obrazowej chorób wątroby (cysty, nowotwory). Proces uczenia obejmuje z reguły redukcję zakłóceń, ekstrakcję cech oraz klasyfikację wyodrębnionych obiektów lub cech obrazu. Redukcja zakłóceń odbywa się przez zastosowanie nieliniowych filtrów, następnie na podstawie statystycznej analizy obrazu ekstrahowane są pożądane cechy, po czym SOM zostały zastosowane do klasyfikacji cech pozyskanych z obrazu.

Sztuczne sieci neuronowe stosowane są również do wspomagania diagnozy chorób psychicznych, schorzeń skóry, chorób rzadkich. W tym celu stosowane są w większości adaptacyjne ANN ze wsteczną propagacją błędu. Chattopadhyay, Kaur, Rabhi i in. (2011) opisali metodę klasyfikacji depresji wśród dorosłych bazującą na ANN ze wsteczną propagacją błędu. Zbudowana sieć neuronowa jest adaptacyjna i oparta o interfejs rozmyty. Sieć neuronowa analizuje i klasyfikuje wyniki ankiet wypełnianych przez pacjentów. Osiągnięto 100% skuteczność przy klasyfikowaniu depresji łagodnej i średniej oraz 92% skuteczność przy klasyfikacji przewlekłej depresji. Zastosowania ANN są także szczególnie istotne w przypadku diagnostyki chorób o nieznanej przyczynie występowania.

## 6.8 Wybrane pozostałe obszary badawcze analizy danych i zarządzania wiedzą istotne dla zastosowań medycznych

### Sieci semantyczne (*Semantic Web*)

Sieci semantyczne w medycznym wspomaganiu decyzji spełniają rolę pomocniczą i wykorzystywane są głownie przy wyszukiwaniu informacji dotyczących diagnostyki lub terapii w rozproszonych medycznych bazach danych. Przykładem jest tu narzędzie do wyszukiwania artykułów naukowych w bazie MEDLINE (PubMed) opisane w artykule Szymańskiego (2009). Istnieje specjalistyczny język, *Unified Medical Language System* (UMLS, http://www.nlm.nih.gov/research/umls/pdf/UMLS Basics.pdf) dostarczający możliwości efektywnego wyszukiwania. Innym przykładem jest system opisany w artykule Berner i in. (2006), mający na celu wsparcie lekarzy i pacjentów w leczeniu ambulatoryjnym. Autorzy prezentują model wspomagania decyzji przy wyborze i dawkowaniu leków oraz sposób wydawania zaleceń odnośnie zażywania przepisanych farmaceutyków.

### Bezpieczeństwo informacji o pacjencie i zagadnienia przetwarzania bardzo dużych ilości danych medycznych

Bezpieczeństwo i poufność danych medycznych jest kluczowym zagadnieniem, które występuje w MDSS i MSE na poziomie zabezpieczenia technicznego. Istotne jest odpowiednie kodowanie i zabezpieczenia dostępu do Elektronicznego Rekordu Pacjenta (EHR). Z kolei „Duża ilość danych” („*big data*”) to stosunkowo nowe pojęcie określające zbiór specjalistycznych procedur służących do przetwarzania dużych, często szybko zmiennych lub różnorodnych zbiorów danych oraz związane z tym problemy badawcze, techniczne, bezpieczeństwa danych i nakładów finansowych. Chociaż stosowane od wielu lat, pojęcie „*Big data*” w kontekście nowych technik i problemów zostało spopularyzowane przez serię niedawnych publikacji w czasopiśmie Nature (tom 455, nr 7209) w roku 2008. W większości dotychczasowych publikacji problematyka zbliżona „Big data” jest określana jako „*data intensive*”, „*Medical VLDB*” („*medyczne bardzo duże bazy danych*”, VLDB to: „*Very Large Databases*”) lub „*Clinical VLDB*”. Zagadnienia te mogą mieć szczególne znaczenie w medycynie, gdzie występuje ogromna ilość danych pochodząca często z różnych źródeł, a głównym problemem jest wydobycie przydatnych informacji służących do podjęcia najlepszej decyzji diagnostycznej lub terapeutycznej. Zastosowanie nowych technik i środowisk obliczeniowych do poszukiwania powiązań i prawidłowości w dużych zbiorach danych może istotnie zwiększyć jakość diagnozy i terapii, badań typu epidemiologicznego. Autorzy niniejszego opracowania spodziewają się, że potrzeba analizy bardzo dużych zbiorów danych, przy zachowaniu ich pełnej ochrony i poufności, w okresie do roku 2025 pozostanie ważnym wyzwaniem dla informatyki medycznej i dla projektantów medycznych DSS i SE.

### Pozostałe metody stosowane w MDSS

W niniejszym podrozdziale scharakteryzowaliśmy najważniejsze i najczęściej stosowane w MDSS metody analityczne. Przy wyborze tych metod wzięliśmy pod uwagę także specyfikę MDSS, tj. nie omawialiśmy szczegółowo metod stosowanych powszechnie w DSS, niezależnie od ich obszarów zastosowań. Oprócz wskazanych wyżej metod należy jednak wspomnieć o mniej rozpowszechnionych, lecz ważnych narzędziach analitycznych, takich jak : analiza wpływu (impact analisys), analiza efektywności, metoda obwiedni danych i inne.

Istotność niektórych z tych metod może w przyszłości wzrosnąć w zależności od potrzeb i kierunków rozwojowych architektur informatycznych MDSS.

## 6.9 Podsumowanie metodyki MDSS

Ze względu na olbrzymią różnorodność MDSS, analiza literatury dotyczącej tych systemów nie pozwala na jednoznaczne stwierdzenie, które ze środowisk programistycznych, metod statystyki matematycznej, czy badań operacyjnych dominują w implementacjach. Widoczne są natomiast następujące trendy.

**Trend 5.** Implementacje MDSS analizowane w okresie 1990-2010 zawierają coraz większą ilość metod analitycznych dotyczących eksploracji danych, analizy decyzyjnej i prognostycznej.

**Trend 6.** W okresie do roku 2025 spodziewany jest wzrost znaczenia bezpieczeństwa danych medycznych przetwarzanych w MDSS i medycznych SE, zwłaszcza w kontekście przetwarzania dużych zbiorów EHR i danych medycznych.

Rysunek 6. Dane bibliometryczne (do roku 2013, przerywana linia) dotyczące ilości publikacji indeksowanych przez Web of Science dla MDSS i bezpieczeństwa danych medycznych oraz prognozy (od roku 2014) wykonane metodą szeregów czasowych ARIMA (źródło: badania własne w WoS 2016’03)

W Tab. 4 przedstawiono powiązania pomiędzy stosowanymi metodami, a funkcjonalnościami i zakresem zastosowań MDSS.

Tab. . Zależności pomiędzy stosowanymi metodami, a funkcjonalnościami i zakresem zastosowań MDSS

| **Lp.** | **Metoda analityczna i obszary badań ICT/AI stosowane w MDSS** | **Funkcjonalności realizowane dzięki metodzie z kolumny 2** | **Zakres zastosowań** |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | Metody k-średnich i rozmytych k-średnich | Redukcja i grupowanie danych | Diagnostyka, dobór odpowiedniej terapii |
| 2 | Metoda wektorów nośnych | Bardziej precyzyjna i szybsza diagnoza chorób | Diagnostyka |
| 3 | Analiza i przetwarzanie obrazów cyfrowych | Automatyczna diagnoza na podstawie maszynowej analizy obrazu | Badania obrazowe (USG, MRI, RTG, PET, NMR) |
| 4 | Analiza głównych składowych | Uporządkowanie i redukcja wymiarowości danych | Medyczne badania naukowe, diagnostyka, dobór odpowiedniej terapii |
| 5 | Drzewa decyzyjne | Redukcja liczby rozpatrywanych wariantów diagnozy lub terapii | Diagnostyka, dobór odpowiedniej terapii |
| 6 | Zbiory rozmyte, zmienne lingwistyczne | Ulepszenie systemów decyzyjnych | Diagnostyka, poprawienie jakości życia pacjentów, dobór odpowiedniej terapii |
| 7 | Teoria możliwości | Ulepszenie systemów decyzyjnych | Diagnostyka |
| 8 | Logika wielowartościowa | Ulepszenie systemów decyzyjnych | Diagnostyka, poprawienie jakości życia pacjentów, dobór odpowiedniej terapii |
| 9 | Zbiory przybliżone |  | Diangostyka |
| 10 | Sieci bayesowskie |  | Diagnostyka |
| 11 | Eksploracja danych | Automatyczne porównanie dużej ilości danych, wykrywanie cech charakterystycznych na postawie analizy porównawczej | Diagnostyka, prognozowanie |
| 12 | Sieci semantyczne | Powiązanie ze sobą maszynowo danych medycznych, Systemy rekomendacyjne | Diagnostyka, dobór odpowiedniej terapii, profilaktyka zdrowotna |
| 13 | VLDB, big data | Analiza bardzo dużych baz danych medycznych | Diagnostyka, dobór odpo­wiedniej terapii, medyczne badania naukowe |
| 14 | Sieci neuronowe | Analiza wariantów w systemach wspomagania decyzji | Diagnostyka, rozpoznawanie obrazów medycznych |
| 15 | Wielokryterialna analiza decyzji | Wspomaganie wyboru w oparciu o wiele kryteriów | Dobór odpowiedniej terapii |
| 16 | Systemy wieloagentowe | Rozwiązywanie problemów charakte­ryzujących się dużą ilością decyden­tów i złożonością obliczeniową | Medycyna wojskowa, ratownictwo medyczne (np. alokacja karetek pogotowia) |

## 6.10 Przykłady architektur informatycznych MDSS

Przykładem typowej architektury informatycznej MDSS jest system rozpoznający i klasyfikujący zachowania osób z chorobą Alzheimera oraz z łagodnym zaburzeniem poznawczym opisany w pracy Jaramillo, Rojas, Valenzuela i in. (2012) Powstał on w środowisku MATLAB z wykorzystaniem Wavelet Toolbox oraz LIBSVM (https://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm/). W jego skład wchodzą trzy moduły.

* Analiza obrazów rezonansu magnetycznego- wydobywanie interesujących cech obrazów.
* Analiza składowych głównych (PCA) w celu zmniejszenia zbioru analizowanych cech.
* Klasyfikacja na podstawie nośników wektorowych (SVM, por. sekcja 4).



Rysunek 7. Schemat struktury eksperymentu wg Jaramillo, Rojas, Valenzuela i in. (2012) fotografia z zasobów własnych FPB.

# Wybrane obszary zastosowań MDSS

## 7.1 Medycyna spersonalizowana, a MDSS

W ostatnich latach nastąpił szybki rozwój medycyny spersonalizowanej (PM, *personalized medicine*, <https://en.wikipedia.org/wiki/Personalized_medicine> [dostęp 03’2010]). Rezultatem tego trendu w obszarze zastosowań MDSS jest wyodrębnienie klasy systemów wspomagania decyzji skierowanych do pacjenta - *Personalized Decision Support System*, skrót PDSS [Kouris, Tsirmpas, Mougiakakou i in., 2010; Douali i Jaulent, 2012 oraz Burtsev, Povoroznjuk i in.. 2013)] uwzględniających jego strukturę preferencji w kontekście danych zgromadzonych w EHR(. Tradycyjne podejście opiera się na poszukiwaniu terapii w oparciu o widoczne symptomy choroby. Medycyna spersonalizowana polega na optymalnym dostosowaniu terapii do indywidualnych potrzeb pacjenta, np. poprzez wyznaczenie optymalnej dawki i indywidualnego harmonogramu aplikacji farmaceutyków.

Personalizacja oparta o ocenę genotypów prowadzi do większej skuteczności leczenia, a także przyczynia się do zredukowania skutków ubocznych oraz podniesienia bezpieczeństwa usług medycznych. Spersonalizowane podejście stosuje się między innymi do leczenia chorób jednogenowych takich jak mukowiscydoza. Przyczyną tej choroby jest dysfunkcja białka CFTR (Howard, Frizzell i Bedwell, 1996) Do niedawna do leczenia tej choroby stosowane mogło być jedynie podejście objawowe. W ostatnich latach nastąpił przełom w leczeniu mukowiscydozy, a mianowicie pacjentom podawane są leki przyczynowe, wpływające bezpośrednio na nieprawidłową funkcję białka CFTR Jest to możliwe dzięki dopasowaniu stosowanego leku do konkretnego genotypu chorego, a pośrednio dzięki informatycznym metodom odczytywania, kodowania i rozpoznawania genotypu (Wilschanski, Yahav, Yaacov i in., 2003; Clancy i Jain, (2012).

Innym przykładem spersonalizowanego systemu wspomagania decyzji jest model zaproponowany przez Kawamoto, Lobacha, Willarda i in. (2009). Model został zastosowany u pacjentów z chorobami krążenia oraz cukrzycą typu pierw­szego, które często występują łącznie. Dane uzyskane na podstawie badań DNA, biomarkerów, zwyczajów żywieniowych, stylu życia i pomiarów czynników fizjologicznych i biologicznych są wykorzystywane przez DSS, zapewniając w ten sposób indywidualizację wskazań lekarskich, doboru i dawkowania leków i całości sposobu leczenia.

## 7.2 Rozpoznawanie i rozumienie danych diagnostyki obrazowej

W wyniku zastosowania podstawowych technik analizy i przetwarzania obrazów medycznych otrzymuje się obrazy cyfrowe, które są podstawą do zastosowania zaawansowanych metod diagnostyki obrazowej opartych na technikach sztucznej inteligencji. Niektóre z nich zostały opisane w rozdziałach poprzednich. Najważniejszymi technikami rozpoznawania obrazów są:

* ekstrakcja cech,
* przeszukiwanie obrazu w celu znalezienia charakterystycznych kształtów metodami semantycznymi lub opartymi na porównywaniu (*matching*),
* budowa przestrzeni stanu dla analizowanego obrazu i dalsza analiza danych metodami klasyfikacji opisanymi w poprzednim rozdziale,
* zastosowanie sieci neuronowych do klasyfikacji obrazu

i inne, por. Ogiela i Tadeusiewicz (2010). Po dalszym przetworzeniu informacje te decydują o diagnozie. Niektóre z omówionych w poprzednim podrozdziale zastosowań sieci neuronowych odnosiły się właśnie do diagnostyki obrazowej. Metody te omówimy dokładniej w dalszej części niniejszego rozdziału.

## 7.3 Specjalistyczne zastosowania CDSS

Tab. . Specjalistyczne zastosowania CDSS

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Lp.** | **Dziedzina** | **Charakterystyka** | **Przykłady zastosowań** | **Bibliografia** |
| 1 | Medycyna wojskowa | Medycyna wojsko­wa obejmuje: dora­źną pomoc dla żoł­nierzy na polu bitwy oraz tworzenie szpitali polowych | Wireless Vital Signs Monitor (WVSM) - kompaktowe urządzenie mierzące ciśnienie tętnicze, puls, saturację i inne parametry życiowe pacjenta niezbędne przy udzielaniu pierwszej pomocy podczas transportu do punktu leczenia. | Lin, Jan, Ko,. i. in. (2004) |
| Burn Resuscitation Decision Support System (BRDSS) stworzony przez US Army Institute of Surgical Research: Powstały w celu wspomagania kontroli nad płynami ustrojowymi u pa­cjentów z rozległymi oparze­niami w czasie pierwszych 48 godzin od wypadku | Bright, Wong, Dhurjati i in. (2012) |
| 2 | Medycyna sportowa, nauki o zdrowiu, dietetyka | Ogół zastosowań związa­nych z medycznym planowaniem treningu oraz zapobieganiem i leczeniem kontuzji w sporcie wyczynowym | Pomiary paramet­rów fizjologicznych pod­czas treningu w celu dobrania odpowied­niego planu trening­owego oraz odpo­wiedniej diety dla sportow­ców zawodowych i ama­torów | Lymberis, Olsson (2003) |
| System rekomendujący dietę na podstawie historii przebytych chorób i badań okresowych pacjenta. | Kim, Lee , Park (2009) |
| System wspomagający żywienie oparty na obli­czeniach w chmurze (*cloud computing*) mający na celu odnalezienie korelacji pomiędzy stanem fizycznym pacjenta, a stosowaną dietą. | Lin.; Yang, Hung i in. (2012) |
| 3 | Epidemiologia | Przewidywanie sposobu rozprzestrzeniania się infek­cji lub schorzeń społecznych, oraz podejmowanie decyzji, w jaki sposób z nimi walczyć | Zastosowania *Medical GIS, GIS-based DSS, spatial DSS* | Yang i in. (2007) |
| Celem przedstawienej metody jest zrozumienie mechanizmów rozprzestrzeniania się choroby epidemicznej. Wykorzystane zostały w tej pracy: soft computing oraz approximate reasoning, bardzo duży nacisk został również położony na wydajność i dokładność oraz możliwość radzenia sobie z niedokładnymi danymi i modelami | Pizzi (2013) |
| 4, | Pediatria | Diagnozowanie chorób u dzieci | Aplikacja służąca do szybszego rozpoznawania autyzmu u dzieci oraz umożlwiająca wymianę informacji pomiędzy rodzicami dzieci cierpiących na tę chorobę | Song, Dillon, Goh i in. (2011) |
| System CHICA (*Child Health Improvement through Computer Automation*) służący do diagnozowania gruźlicy i anemii wynikającej z niedoboru żelaza u dzieci w wieku 0-11 lat w Stanach Zjednoczonych. | Carroll, Biondich, Anand i in.(2011) |
| 5 | Psychiatria | Diagnostyka i lecze­nie cho­rób oraz za­burzeń psychi­cznych na podstawie różnorodnych danych pochodzących z diagnostyki oraz wywiadu lekarskiego | Lecze­nie schizofrenii na podstawie obrazów MRI, opisu obja­wów u pacjenta odnotowanych w EHR oraz ankiet i testów wypełnia­nych przez pacjentów | Drake, Bond, Essock (2009) |
| Zastosowanie MDSS w diagnostyce i leczeniu depresji, zalety i bariery | Trivedi i in. (2006) |
| System mający na celu zdiagnozowanie zabu­rzeń psychicznych użytkowników Internetu na podstawie ich zachowań w sieci. Do klasyfi­kacji wykorzystana została metoda wektorów nośnych. Sys­tem w analizie uwzględnia różne aspekty dzia­łalności pacjenta w Internecie m.in: liczbę i rodzaj odwiedzanych stron oraz czas ich odwiedzania.. | Dong, Yue, Tingshao, (2012) |
| 6 | Stomatologia | Wspomaganie decyzji dotyczące wyboru najlepszej metody leczenia zębów, | System wspomagający decyzję przy wyborze ekstrakcja i nie-ekstrakcja zęba, uwzględnianie historii choroby pacjenta, w tym EHR | Yagi, Ohno, i Takada (2009) |
| 7 | Farmakologia i farmacja | Zastosowania specjalistycz­nych baz wiedzy, uwzględ­nianie historii choroby pacje­nta przy podejmowaniu decyzji terapeutycznych, | Wspomaganie decy­zji przy wyborze odpowiedniego leku i optymalnym daw­kowaniu, zwłaszcza w leczeniu ambulatoryj­nym, automaty­zacja pro­cesu wyda­wania i zamawiania leków, oprogramowanie wspomaga­jące próby kliniczne | Berner i in., (2006) |
| System wspomagania decyzji w dawkowaniu tobramycyny i amikacyny - antybiotyków o działaniu bakteriobójczym, zastosowanym w przypadkach dorosłych pacjentów w Vander­bilt University Medical Center (VUMC) w USA. System na podstawie wieku, płci, wagi, pomiaru kreatyniny oraz do­celowego stężenia podanego leku oblicza dawkę i częstotliwość podawania leku.. | Cox, Nelsen, Waitman (2011) |
| 8 | Medycyna bólu | Mechanizmy powstawania i kliniczna ocena bólu, leczenie bólu, rehabilitacja, psychologia bólu. | Kliniczne systemy wsparcia decyzji (CDSS) mają na celu poprawę dokładności oceny bólu i zaoferowanie lepszego wsparcia w podejmowaniu decyzji klinicznych dotyczących leczenia bólu. | Pombo, N., Araújo, P., Viana (2014) |
| 9 | Medycyna niekonwencjonalna i zastoso­wania para­medyczne | Obejmuje m.in. akupunkturę, medycynę ludową i ziołolecznictwo. | System rekomendujący zdrowe jedzenie wyko­rzystujący techniki eksploracji danych. Jego działanie polega na zbieraniu danych o nawy­kach żywienio­wych użytkownika, analizie spożywanych pro­duktów i  rekomendowaniu konkretnych pro­po­zycji zdrowych posiłków, zgod­nych z upodoba­niami danej osoby. | Li, Liu, Zhang i in. (2010) |
| System mający zastosowanie w pro­dukcji ziół w Chinach, gdzie wytwa­rzane tradycyjną meto­dą zioła muszą spełniać odpowiednie wymogi usta­lone przez Good Traditional Medicine Manufacturing Practices (GTMMP). Opiera się na bazie da­nych, a zastosowany algorytm słu­żący do planowania i organizacji pracy w ra­mach systemu wspierania decy­zji jest algoryt­mem sieciowym stosu­jącym metodę PERT oraz metodę ścieżki krytycznej. Celem systemu jest przyśpieszenie produkcji i zwię­kszenie jej niezawodności | Van Valkenhoef, Tervonen, Zwinkels i in. (2013) |

*Źródło: opracowanie własne, literatura wymieniona w kol.5*

## 7.4 Metody i aplikacje wspomagające analizę ryzyka w medycynie

Rozwój metod analitycznych stosowanych w systemach wspomagania decyzji pozwolił na opracowanie systemu ACS NSQIP (zob. Tab. 2 w podrozdz. 3), które umożliwiają wyznaczenie prawdopodobieństwa wystąpienia 1 z 8 predefiniowanych rodzajów komplikacji pooperacyjnych na podstawie informacji o pacjencie zgroma­dzonych w EHR. Podczas tworzenia systemu uzyskano dane z 393 szpitali, które były zbierane przez wykwalifikowany personel, i zawierały dane o pacjencie takie jak: wiek, dane demograficzne, (body- BMI), choroby, rodzaj planowanej operacji, oraz monitorowany przez 30 dni stan zdrowia pacjenta po operacji i inne [Bilimoria, Liu, Paruch i in., 2013] Na podstawie tych informacji aplikacja wyznacza ryzyko wystąpienia komplikacji pooperacyjnych. Zdarzają się przypadki, w których powyższy formularz nie w pełni odwzorowuje stan pacjenta, dlatego też wprowadzono możliwość manualnego nanoszenia poprawek przez lekarza, (np. zwiększenie przewidywanego ryzyka operacji). Dzięki wprowadzeniu takiej opcji system uczy się na bieżącą, powiększając przy tym swoją bazę wiedzy. Kalkulator dostępny jest online (http://riskcalculator.facs.org.)

Innym przykładem wykorzystania systemów wspomagania decyzji może być zmniejszenie ilości błędnych recept, w szczególności zawierających nieodpowiednie leki (Baysari, Westbrook, Braithwaite i in., 2011). Kryteriami wyboru są tu prawdopodobieństwo, że lek będzie skuteczny w danym przypadku (efektywność) oraz brak skutków ubocznych (bezpieczeństwo). Mniejszy, choć również zauważalny wpływ mają cena leku, żądanie pacjenta i polityka szpitala. Dotyczą one jednak sytuacji, w której do wyboru są leki o takiej samej efektywności i bezpieczeństwie. System wspomagania decyzji, działający automatycznie, może analizować więcej danych, niż lekarz, dlatego jego użycie może przyczynić się do polepszenia jakości wyborów i minimalizowania błędów, bez zwiększania wysiłku lekarza (Cox, Nelsen, Waitman, 2011). .

# MDSS, a mHealth

Wraz z rozwojem Internetu coraz popularniejsze stają się aplikacje, w których użytkownik (pacjent) może samodzielnie dokonać pomiarów i/lub opisać symptomy choroby, a następnie albo wprowadzić je do aplikacji lub pozwolić na automatyczne przekazanie ich w celu dalszego przetworzenia i uzyskania diagnozy. Zazwyczaj są to aplikacje webowe - *Web-based medical decision support systems* (WMDSS), a w ostatnich latach - mobilne (mobile health, *mHealth,* por. Skulimowski, 2004). W tych ostatnich dominuje automatyczna akwizycja i transmisja danych diagnostycznych.

## 8.1 Systemy webowe

Jednym z najbardziej popularnych systemów webowych wspomagających decyzje medyczne w USA jest obecnie serwis WebMD (http://www.webmd.com). Stanowi on źródło wiarygodnych informacji dotyczących opieki zdrowotnej i ochrony zdrowia. Zawiera m. in. listę lekarzy i aptek oraz zbiór artykułów medycznych. WebMD weryfikuje także kwalifikacje wszystkich pracowników służby zdrowia na danym terenie. Służy pacjentom, lekarzom, i innym pracownikom służby zdrowia. Można go wykorzystywać do przechowywania osobistych informacji medycznych.

## 8.2 Systemy mHealth

W ostatnich latach coraz popularniejsze staje się użycie urządzeń mobilnych w celu monitorowania w czasie rzeczywistym stanu zdrowia pacjenta. Interesującym, lecz kontrowersyjnym z punktu widzenia medycznego rozwiązaniem jest automatyzacja nie tylko akwizycji danych, lecz również diagnozy i zaleceń terapeutycznych, których przekazywanie do osoby monitorowanej może nastąpić bez nadzoru lekarza, por. Skulimowski (2004). Systemy tego typu zawierają inteligentne moduły, aby zbierane dane miały znaczenie dla podejmowanych decyzji. Obecnie istnieje zarówno bogata literatura poświęcona systemom mHealth, jak też i wiele wdrożeń takich systemów, związanych głównie z monitoringiem zagrożeń (np. upadki osób starszych) jak również schorzeń chronicznych (głównie choroby układu krążenia i cukrzyca). Wiele z aplikacji mHealth instalowanych w telefonach wspomaga osoby starsze [Poorani, Ganapathy, Vaidehi i in., 2012)], m.in. współpracując z czujnikami wykrywającymi upadek . Systemy te kontrolują trzy wspólrzędne przestrzenne za pomocą akcelerometrów, zaś pozyskane w ten sposób dane przekazuje do systemu centralnego zainstalowanego na serwerze medycznym, który klasyfikuje stan osoby monitorowanej (siedzi, stoi, leży, idzie, przewraca się, leży po upadku). W przypadku upadku zostaje automatycznie wezwana pomoc. W większości systemów przed wysłaniem karetki ratunkowej alert weryfikowany jest jeszcze przez personel medyczny.

## 8.3 Technologie ubieralne (Wearable technologies)

Technologia „ubieralna” obejmuje urządzenia elektroniczne przeznaczone do noszenia na ubraniu lub będącego integralną częścią ubioru (np. system sensorów wszytych w tkaninę), często w formie ozdoby, których celem jest pozyskiwanie, wstępne przetwarzanie i dostarczanie różnych danych.

Przykładem zastosowania tych technologii są sieci sensorów zainstalowanych w odzieży lub bezpośrednio na skórze, zapewniające pomiar para­metrów fizjologicznych, np. pulsu i ciśnienia tętniczego podczas ćwiczeń fizycznych Haahr, Duun, Toft i in. (2012). Na podstawie zebranych danych ustalane są optymalne zestawy ćwiczeń dla danej osoby. Do systemu można dołączyć moduł odpowiedzialny za rejestrację pokarmów spożywanych przez użytkownika. Systemy tego typu, w połączeniu z aplikacjami mobilnymi wspierają sportowców oraz amatorów podczas treningów, a także poma­gają podjąć odpowiednią decyzję w kwestiach żywieniowych z ukierunkowaniem na indywidualne cele, np. zrzucenie zbędnej wagi. W artykule Economou, Lymberopoulos, Karavatselou i in. (2001) opisane jest wykorzystanie technologii ubieralnych w podobnym celu. Zaprezentowany system wspomaga żywienie i oparty jest o obliczenia w chmurze (*cloud computing*). Zastosowana metoda polega na znalezieniu korelacji pomiędzy stanem fizycznym pacjenta, a proponowaną i zastosowaną dietą.

Van Langenhove (2007) opisuje rolę inteligentnego włókiennictwa w monitorowaniu stanu zdrowia poszczególnych grup pacjentów, takich jak kobiety w ciąży, dzieci w szpitalach, pacjenci z chorobami serca, osoby starsze i niepełnosprawne fizycznie. Z kolei Lorwongtragool, Baumann, Sowade i in. (2013) opisali model elektronicznego nosa (e-nose) noszonego w postaci opaski na rękę. Zawiera on sieć czujników chemicznych z komunikacją bezprzewodową służący do monitorowania zapachu pachowego uwolnionego z ludzkiego ciała w celu klasyfikacji zapachów ze względu na aktywności pacjenta.

## 8.4 Body Area Networks (BAN)

Sieci sensorów dokonujące całościowego monitoringu organizmu człowieka (Body area networks), lub istotnych organów (np. skóry) są dalszym etapem rozwoju systemów mHealth i systemów ubieralnych. Ich zastosowanie wykracza poza diagnostykę i terapię, służąc np. do monitoringu parametrów fizjologicznych przy wykonywaniu skomplikowanych czynności. Przykładem zastosowań całościowego monitoringu organizmu jest opisany przez Jovanova, Milenkovica, Otta i in. (2005) system wspierający proces rehabilitacji wspomaganej komputerowo m. in. rehabilitacji po udarze mózgu, po operacji stawu biodrowego lub kolanowego, po zawale serca. System analizuje w czasie rzeczywistym dane z czujników umieszczonych na ciele pacjenta, a następnie wysyła zwrotną informacje dla użytkownika oraz wskazówki dotyczące dalszego postępowania i poziomu aktywności. Może także generować ostrzeżenia na podstawie stanu zdrowia. Ponadto, wszystkie zapisane informacje mogą być przesyłane do serwerów medycznych za pośrednictwem internetu i zintegrowane w postaci baz dokumentacji medycznych. Inny przykład stanowi system monitorowania pacjenta ułatwiający wczesne wykrywanie choroby Alzheimera zaproponowany przez Chenga i Zhuanga (2010). Wykorzystuje on technologię Bluetooth do śledzenia lokalizacji pacjenta w domu. Informacja o dokładnym położeniu chorego transmitowana jest do lokalnej bazy danych. Na podstawie znajomości struktury ruchu pacjenta, lekarz jest w stanie określić u niego pierwsze stadium rozwoju schorzenia. Proponowane rozwiązanie ma na celu poprawienie jakości życia ludzi starszych, obniżenie kosztów opieki medycznej i ułatwienie pracy lekarzom.

## 8.5 Telemedycyna, a mHealth

Telemedycyną nazywamy zbiór rozwiązań technicznych służących do zdalnego świadczenia usług medycznych z udziałem personelu lekarskiego. Umożliwiają one dostęp do lekarzy specjalistów osobom zamieszkałym na terenach odległych od centrów medycznych. Do usług, które są dostarczane za pomocą telemedycyny należą m. in. możliwość video-rozmowy lekarza z pacjentem, przesyłanie obrazów diagnostycznych, zdalne monitorowanie pacjenta i zdalna diagnostyka, przeprowadzanie zabiegów medycznych na odległość. Istnieje też wiele systemów telemedycznych przeznaczonych do domowego monitoringu stanu zdrowia kobiet w ciąży, osób starszych i/lub dzieci, w tym zwłaszcza noworodków. System ma na celu wczesne wykrywanie komplikacji mogących pojawić się podczas ciąży oraz dostarczenia informacji na temat porodu. Sygnały odbierane przez system w czasie rzeczywistym są przetwarzane przez sztuczną sieć neuronową i na podstawie wyników jej działania generowane są ewentualne ostrzeżenia.

Natomiast technologie „mobilnego zdrowie” (*mHealth*) nie wymagają udziału lekarza w profilaktyce i diagnostyce, a we wzrastającym zakresie, także terapii. Nacisk położony jest tu na umożliwieniu pacjentowi (lub potencjalnemu pacjentowi w przypadku profilaktyki) wykonywania podstawowych czynności diagnostycznych i podejmowania decyzji dotyczących profilaktyki i terapii we własnym zakresie, jedynie pod nadzorem personelu medycznego, a czasami w pełni autonomicznie.

Zamieszczone poniżej wykresy ilustrują trendy bibliograficzne w zakresie telemedycyny, mHealth, wHealth oraz MDSS. Rysunek 4 przedstawia wykresy intensywności publikacji w nowych dziedzinach m-Zdrowia (mHealth) i „Ubieralnego zdrowia” (wHealth) na tle telemedycyny, która uznawana jest za dziedzinę o ugruntowanej pozycji w literaturze medycznej. Widoczny jest szybki wzrost ilości publikacji z tych dziedzin, zwłaszcza w zakresie mHealth, po roku 2004. W celu wyznaczenia wartości prognozowanych w przypadku telemedycyny użyto modelu ARIMA(1,1,0) z dryfem, dla m-Zdrowia modelu ARIMA(1,2,0) oraz dla „Ubieralnego zdrowia” modelu ARIMA(1,2,1).

Rysunek 5 pokazuje trendy bibliometryczne dla obszarów badawczych związanych z MDSS i mHealth. Do roku 2009 wspólne wystąpienia tych terminów w WoS były jeszcze sporadyczne, znacznie częściej ich koincydencja występowała w bazach bibliograficznych poszczególnych wydawców, np. w IEEE Xplore. Sytuacja ta spowodowana jest stosunkowo długim czasem indeksowania artykułów w WoS. W celu wyznaczenia prognoz w przypadku MDSS został użyty model ARIMA(1,2,1), a w przypadku m-Zdrowia lub telemedycyny model ARIMA(1,1,0) z dryfem.

Rysunek . Dane bibliometryczne (do roku 2013, przerywana linia) dotyczące ilości publikacji indeksowanych przez Web of Science dla „mobilnego zdrowia” (mHealth), „ubieralnego zdrowia” (wHealth) i obszarów powiązanych oraz przewidywane ilości publikacji (od roku 2014) (źródło: badania własne w WoS 2016’03)

Rysunek 5. Dane bibliometryczne (do roku 2013, przerywana linia) oraz prognozy wykonane metodą (od roku 2014) dotyczące ilości publikacji indeksowanych przez Web of Science dla obszarów związanych z MDSS i mHealth (źródło: badania własne, 2016’03)

W najbliższym okresie oczekiwany jest dalszy szybki rozwój zarówno telemedycyny, jak i mHealth i wHealth. Z tego względu zagadnienia te były rekomendowane do szczegółowych badań w ramach Projektu SCETISC (www.ict.foresight.pl).

# Medyczne systemy rekomendujące

Odrębną kategorię medycznych DSS stanowią medyczne systemy rekomendujące. Rekomendacje są generowane głownie na podstawie preferencji lekarzy lub pacjentów, a w mniejszym stopniu w oparciu o dane pochodzące z systemów i urządzeń medycznych. Wiele rekomenderów medycznych powstaje w oparciu o sieci społecznościowe, w tym o specjalne sieci osób zainteresowanych konkretnym schorzeniem. Rekomendery medyczne są tworzone w oparciu o te same architektury informatyczne, co powszechnie rekomendery w aplikacjach e-commerce, np. rekomenderyturystyczne. Często też stosowana jest metoda collaborative filtering, zarówno user-based, jak i item –based, przy czym rolę „item” odgrywa tu najczęściej farmaceutyk, lekarz, lub zabieg medyczny.

Bardzo często przy diagnozie można posłużyć się już istniejącymi danymi pochodzącymi na przykład z historii medycznej pacjenta, zwłaszcza historii przebytych chorób, które można odnaleźć m.in. w EHR (Electronic Health Record).Często napotykanym problemem jest brak standaryzacji tych rekordów,co skutkuje trudnościami w wyszukiwaniu w nich informacji. Rozwiązaniem jest zastosowanie technik Data Mining w celu ekstrakcji danych istotnych z punktu widzenia systemu decyzyjnego. Podejście takie zostało zaproponowane między innymi w pracy Batra; Parashar, Sachdeva i in. (2013). Kolejnym przykładem sposobu, w jaki systemy decyzyjne mogą korzystać z integracji z EHR podany jest w Lopez-Nores; Blanco-Fernandez; Pazos-Arias i in. (2011), którzy wykorzystali istniejący system rekomendacyjny MiSPOT wzbogaconny o przetwarzanie informacji pochodzących z EHR oraz sieci społecznościowych. Sieci semantyczne zaprezentowane przez Wiesner. Rotter, Pfeifer (2011) zostały wykorzystane w celu powiązania ze sobą informacji medycznych, następnie zaprezentowana została technika pozyskiwania złożonych danych z takich sieci. Pokazano również możliwy sposób wykorzystania takich sieci w systemach rekomendacyjnych.

Song I., Dillon, Goh T.J (2011) wskazują ogromny potencjał, jaki niosą ze sobą sieci społecznościowe dla wsparcia osób z chorobami przewlekłymi. Ze względu na kwestie prywatności i bezpieczeństwa systemów informacji o zdrowiu, często trudno jest znaleźć pacjentów, którzy mogą wspierać się nawzajem w społeczności, dlatego autorzy proponują platformę, znajdującą powiązania między rodzicami dzieci cierpiących na autyzm za pomocą podobieństw raportów i bez ujawniania poufnych informacji Autorzy proponują wykorzystanie w tym celu metody SVM. Zadaniem systemu jest rekomendowanie odpowiedniej społeczności rodziców.

# Analiza trendów rozwojowych i innych zagadnień rekomendowanych do szczegółowego badania

Ważny trend rozwojowy MDSS (CDSS) jest powiązany z ogólnym trendem rozwoju medycyny, który określany jest często jako przejście od terapii masowej do spersonalizowanej. Polega on na dostosowaniu diagnostyki i terapii, w tym farmakoterapii do indywidualnych cech i potrzeb pacjenta. Rezultatem jest modyfikacja niektórych procedur medycznych i – przede wszystkim – przetwarzanie dużych ilości informacji. Przebieg leczenia opisują następujące etapy:

* Dogłębny wywiad medyczny, obejmujący całą zawartość EHR oraz informacje o leczeniu w innych placówkach, która nie została włączona do EHR,
* Spersonalizowana propozycja terapii w oparciu o dane z poprzedniego etapu przetwarzane w medycznym DSS.
* Ciągły lub częsty monitoring pacjenta podczas leczenia stacjonarnego przy wykorzystaniu narzędzi telemedycznych lub mHealth.
* Ciągły lub częsty monitoring pacjenta podczas leczenia ambulatoryjnego, rekonwalescencji lub monitoring schorzenia w fazie przewlekłej przy wykorzystaniu narzędzi mHealth.

Terapia spersonalizowana wymaga zastosowania nie tylko inteligentnych MDSS, lecz również podobnych systemów zarządzania medycznego i odpowiedniej organizacji służby zdrowia.

Tab. . Trendy rozwojowe MDSS [wg "Scenariusze i trendy rozwojowe wybranych technologii społeczeństwa informacyjnego do roku 2025. Raport końcowy", 2013, red. Andrzej M. Skulimowski], zidentyfikowane w raporcie Skulimowski i in., 2010, i rekomendowane do dalszej analizy w ramach Zad.4.]

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Nr trendu** | **Opis trendu** | **Klasyfikacja wpływu na rozwój MDSS** | **Współzależności** |
| **Trend 1** | Duża i zwiększająca się wciąż wśród MDSS przewaga systemów wspomaga­nia decyzji typu „knowledge based”, związana z większym w medycynie, niż w innych dziedzinach zastosowań znaczeniem reguł decyzyjnych i baz wiedzy | Komercyjne bazy wiedzy medycz­nej są pokrywają praktycznie wszystkie obszary badawcze MDSS | Przyczynowe:  Trend 2 (+), Trend 3 (+) |
| **Trend 2** | Zwiększający się udział decyzji lekarskich podejmowanych przy pomocy SWD. | Jednoznacznie pozytywny i wpływający na wzrost sprzedaży zarówno mDSS, jak i innych aplikacji | Przyczynowe:  Trend 1 (+), Trend 3 (+),  Trend 6 (++)  Skutkowe:  Trend 1(+) |
| **Trend 3** | Diagnozy stawiane przez lekarzy korzystających z pomocy CDSS są obarczone coraz mniejszym błędem. | Jednoznacznie pozy­tywny i wa­runkujący wzrost ilości dziedzin medycyny, gdzie wykorzystywane będą MDSS | Przyczynowe:  Trend 1 (+), Trend 5 (++),  Skutkowe:  Trend 1(+)  Trend 2(+)  Trend 4(+) |
| **Trend 4** | Zakres stosowania CDSS do celów diagnostycznych obejmuje coraz więcej dziedzin medycyny. | Umożliwia integracje MDSS przeznaczonych dla różnych specjalności i może przyczynić się do powstania uniwersalnych MDSS | Przyczynowe:  Trend 1 (+),  Trend 6 (+)  Skutkowe:  Trend 1(+)  Trend 2 (++) |
| **Trend 5** | Analizowane w ramach projektu implementacje MDSS w okresie 1990-2013 zawierają coraz większą ilość metod analitycznych dotyczących eksploracji da­nych, analizy decyzyjnej i prognostycznej. | Zwiększające się wymagania merytoryczne wobec użytkowników MDSS | Przyczynowe:  Trend 1 (+/-),  Skutkowe:  Trend 1(+/-)  Trend 3 (+) |
| **Trend 6** | Wzrost znaczenia bezpieczeństwa danych medycznych przetwarzanych w MDSS i medycznych SE, zwłaszcza w kontekście przetwarzania dużych zbiorów EHR i danych medycznych | Działania na rzecz poprawy cyber­bezpieczeństwa DSS wpłyną na wzrost zaufania użytkowni­ków do tych aplikacji | Przyczynowe:  Trend 5 (+),  Skutkowe:  Trend 1(+)  Trend 2 (+)  Trend 3 (+) |

***Legenda:*** *(-/+) wpływ niejednoznaczny, (+) – wpływ pozytywny, (++) – silny wpływ pozytywny*

Analiza bibliograficzna oraz łączna analiza krajowych potrzeb aplikacyjnych i potencjału przedsiębiorstw software’owych i integratorów rozwiązań informatycznych, pozwoliła na wyłonienie najbardziej perspektywicznych zagadnień badawczych foresightu technologii Społeczeństwa Informacyjnego związanych z zastosowaniami medycznymi i zgodnych z trendami rozwojowymi informatyki medycznej i – w szczególności – MDSS (Skulimowski i in., 2010). Są to:

* Systemy mHealth profilaktyczne i diagnostyczne ogólnego przeznaczenia dla osób zdrowych oraz specjalistyczne systemy diagnostyczne dla chorych chronicznie, oparte na niewielkiej liczbie sensorów (2-6) i na transmisji danych przez telefony komórkowe;
* Wielopoziomowe MDSS dla insulinozależnych chorych na cukrzycę typu II. Niższe poziomy zapewnią w pełni autonomiczny monitoring i diagnostykę, a wyższe poziomy specjalistyczne porady lekarskie oparte na wprowadzonych do systemu informacyjnego przez pacjenta danych diagnostycznych pochodzących spoza sieci sensorów (np. badania CRP i inna diagnostyka morfologiczna) oraz zalecenia terapeutyczne, również nadzorowane przez lekarza,
* MDSS wspomagające diagnostykę i terapie, a następnie proces rekonwalescencji u osób starszych chorych na nowotwory piersi.

Zagadnienia te były przedmiotem dyskusji podczas seminariów tematycznych Projektu z udziałem jego interesariuszy.

# Wnioski i rekomendacje końcowe

Większość systemów przedstawionych w niniejszym opracowaniu ma na celu pomóc w rozwiązaniu konkretnego przypadku medycznego, jak np. klasyfikacja choroby psychicznej, czy też nowotworu lub innych dolegliwości fizycznych.

## 11.1 Podstawy dalszego rozwoju medycznych systemów eksperckich i MDSS w Polsce

W niniejszym podrozdziale przedstawimy wybrane polskie instytucje naukowe, które w istotny sposób mogą przyczynić się do rozwoju medycznych systemów eksperckich i MDSS w Polsce głównie poprzez prowadzone badania naukowe, szkolenia i in. W Tab. 7 zamieszczono instytucje naukowe, z których najczęściej pochodzą polscy autorzy publikacji indeksowanych w Web of Science z zakresu Zadań 4 i 5 o tematyce związanej z inżynierią biomedyczną i informatyką medyczną. Instytucje te, oraz pozostałe uczelnie wyższe i instytuty PAN o znaczącym wkładzie w rozwój dziedzin badawczych Projektu zostały umieszczone na liście instytucji, skąd zapraszani będą eksperci do udziału w ankietach delfickich, seminariach i dyskusjach panelowych. Jednostki badawczo rozwojowe, które również posiadają ważny dorobek, często głownie aplikacyjny, w zakresie Zadań 4 i 5 wskazane są w raporcie Skulimowski i in. (2010).

# Bibliografia

1. Anderson C.D., Fadul J.A., Menon A., Terceros H.D., Rx-decision: A decision support tool for the optimal prescription drug plan for patients. W: IEEE Systems and Information Design Symposium (SIEDS), 24-29 (2012)
2. Bacioiu G.M., Pasek Z.J., Systems dynamics simulation approach to a personalized obesity decision support system model, E-Health and Bioengineering Conference (EHB) 1-4, (2011)
3. Barnett G.O., Cimino J.J., Hupp J.A., Hoffer E.P., DXplain: an evolving diagnostic decision-support system, Jama 258(1), 67-74 (1987)
4. Baysari, M.T., Westbrook, J., Braithwaite, J., Day, R.O.: The role of computerized decision support in reducing errors in selecting medicines for prescription. Drug safety 34, 289-298 (2011)
5. Berner E.S., Houston T.K., Ray M.N., Allison J.J., Heudebert G.R., Winn Chatham W., Kennedy J.I., Jr. Glandon G.L., Norton P.A., Crawford M A., Maisiak R.S.: Improving ambulatory prescribing safety with a handheld decision support system: a randomized controlled trial. J Am Med Inform Assoc13,171–179 (2006)
6. Berner, E.S., La Lande T.J.: Overview of Clinical Decision Support Systems. W: Clinical Decision Support Systems. Theory and Practice, Springer, New York s.2-22 (2007)
7. Bellos C., Papadopoulos A, Rosso R., Fotiadis D.I., Heterogeneous data fusion and intelligent techniques embedded in a mobile application for real-time chronic disease management, Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society,EMBC, s.8302-8206 (2011)
8. Bilimoria K.Y., Liu Y, Paruch J.L, Zhou L, Kmiecik T.E., Ko C.Y,, Cohen M.E. Development and Evaluationof the Universal ACS NSQIP Surgical Risk Calculator: A Decision Aid andInformed Consent Tool for Patients and Surgeons 217(5), 833-842 (2013)
9. Boser B., Guyon I., Vapnik V.: Pattern recognition system using support vectors - US Patent No. 5,649,068, USPTO, 1997
10. Burke J.P., Classen D.C., Pestotnik S.L., Evans R.S., Stevens L.E.:. The HELP system and its application to infection control. Journal of Hospital Infection 18, Supplement A, 424-431 (1991)
11. Burtsev M., Povoroznjuk A., Povoroznjuk O., Filatova A.: Design of computer-based intelligent support decision systems for medicine. In Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM), 2013 12th International Conference on the, pp. 45-52. (2013)
12. Carroll, A.E., Biondich, P.G., Anand, V., Dugan, T.M., Sheley, M.E., Xu, S.Z., Downs, S.M.: Targeted screening for pediatric conditions with the CHICA system. Journal of the American Medical Informatics Association 18, 485-490 (2011)
13. Chen, Y., Joo, E.M.: Biomedical diagnosis and prediction using parsimonious fuzzy neural networks. In IECON 2012-38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, pp. 1477-1482. IEEE, (2012)
14. Cheng H., Zhuang W.: Bluetooth-enabled in-home patient monitoring system: Early detection of Alzheimer's disease. IEEE Wireless Communications 17(1), February 2010, 1536-1284 (2010)
15. Cheng, H.D.; Shi, X.J.; Min, R.; Hu, L.M.; Cai, X.R.; Du, H.N.: Approaches for automated detection and classification of masses in mammograms. Pattern Recognition 39(4), 646-668 (2006)
16. Chi C.L., Street W.N., Katz D. A.: A decision support system for cost-effective diagnosis. preprint, submitted to Artificial Intelligence in Medicine (April 2010)
17. Czerni M., Pukocz P., Skulimowski A.M.J., Szymlak E.: Aktualny stan wiedzy w zakresie systemów wspomagania decyzji, systemów eksperckich i rekomenderów . Raport Stanu Wiedzy Cz. I. Systemy wspomagania decyzji. Raport Techniczny Projektu SCETIST, Nr WND-POIG.01.01.01-00-021/09, Fundacja Progress & Business, Kraków, (2010.)
18. Czerni M., Pukocz P., Skulimowski A.M.J., Szymlak E.: Aktualny stan wiedzy w zakresie systemów wspomagania decyzji, systemów eksperckich i rekomenderów . Raport Stanu Wiedzy Cz. II. Medyczne systemy wspomagania decyzji. Raport Techniczny Projektu SCETIST, Nr WND-POIG.01.01.01-00-021/09, Fundacja Progress & Business, Kraków, (2010
19. De Dombal F., Leaper D., Staniland J.R., McCann A., Horrocks J.C.: Computer-aided diagnosis of acute abdominal pain. BMJ 2(5804), 9-13 (1972)
20. Dori F.; Iadanza E.; Miniati R.: DSS for Field Hospitals Planning. Technological and Functional Aspects 29th Annual International Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society, IEEE s. 3589 - 3592 (2007)
21. Douali N., Jaulent M., Genomic and personalized medicine decision support system. W: 2012 International Conference on Complex Systems (ICCS), s. 1-4. (2012)
22. Drake R.E., Bond G.R., Essock S.M.: Implementing Evidence-Based Practices for People With Schizophrenia. Schizophrenia Bulletin 35(4), s.704–713 (2009)
23. [Economou G.P](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Economou%20GP%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=11300217)., [Lymberopoulos D](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Lymberopoulos%20D%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=11300217)., [Karavatselou E](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Karavatselou%20E%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=11300217)., [Chassomeris C](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Chassomeris%20C%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=11300217).: A new concept toward computer-aided medical diagnosis--a prototype implementation addressing pulmonary diseases. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 5(1): 55-66 (2001)
24. Emerson P.A, Wyatt J., Dillistone I., Crichton N., Russell N.J.: The development of ACORN, an expert system enabling nurses to make admission decisions about patients with chest pain in an accident and emergency department. W: Proceedings of Medical Informatics. Computers in Clinical Medicine, s.37-40 (1988)
25. [Geissbuhler](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Geissbuhler%20A%5Bauth%5D)  A., Miller R.A., WizOrder, a User-Friendly Interface for Order Entry and Clinical Decision Support Tools (streszczenie). W: Proceedings of the Annual Symposium on Computer Application in Medical Care s.1002 (1995)
26. Haahr, R.G., Duun, S.B., Toft, M.H., Belhage, B., Larsen, J., Birkelund, K., Thomsen, E.V.: An electronic patch for wearable health monitoring by reflectance pulse oximetry. Biomedical Circuits and Systems, IEEE Transactions on 6, 45-53 (2012)
27. Hartigan J.A.. Wong M.A.: A K-Means Clustering Algorithm. Applied Statistics 28(1), 100-108 (1979)
28. Hodgkin, A. L.; Huxley, A. F.: A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve. W: The Jornual of Phisology 117(4): 500–544. (1952). "
29. Howard M., Frizzell R.A., Bedwell D.M. Aminoglycoside antibiotics re-sore CFTR function by overcoming premature stop mutations. Nature Medicine 2(4), 467–469 (1996)
30. Ingraham A.M., Bilimoria K.Y., Cohen M.E, Raval M.Y., Ko C.Y., Nathens A.B., Hall B.L.: Comparison of Thirty-Day Outcomes after Emergency General Surgery Procedures: Areas for Targeted Improvement. Journal of Surgical Research 158(2), February 2010, 309-310 (2010)
31. Jaramillo D., Rojas I., Valenzuela O., García I.,Prieto A.Advanced systems in medical decision-making using intelligent computing. Application to magnetic resonance imaging. The 2012 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN) pp.1-8 (2012)
32. Jovanov E. Milenkovic A., Otto C., de Groen P.: A wireless body area network of intelligent motion sensors for computer assisted physical rehabilitation. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation 2(1), 6 (2005)
33. Kahn M.G., Ferguson J.C., Shortliffe E.H., Fagan L.M.: Representation and use of temporal information in ONCOCIN. W: Proceedings of the Annual Symposium on Computer Application in Medical Care, American Medical Informatics Association, s. 172-185 (1985)
34. Kaliszewski I.: Wielokryterialne podejmowanie decyzji: obliczenia miękkie dla złożonych problemów decyzyjnych. WNT, Warszawa (2008)
35. Karule P.T., Dudul S.V.: PCA NN Based Classifier For Liver Diseases from Ultrasonic Liver Images. W: [Emerging Trends in Engineering and Technology (ICETET), International Conference,](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=5394476) s. 76-80 (2009)
36. Kawamoto, K., Lobach, D.F., Willard, H.F., Ginsburg, G.S.: A national clinical decision support infrastructure to enable the widespread and consistent practice of genomic and personalized medicine. BMC medical informatics and decision making 9(17), (2009)
37. Kim J., Lee J.-H., Park J.-S., Lee Y.-H., Rim K.-W.: Design of Diet Recommen­dation System for Healthcare Service Based on User Information. W: International Conference on Computer Sciences and Convergence Information Technology (ICCIT '09). s. 516-518 (2009)
38. Kim J.,Youn C.-H. Kim, D. Woo J.-M., Jung S.: Cost-Minimized E-Health Service for Identification of Mental Stress related Heart Rate Changes, 4th IEEE/EMBS International Summer School and Symposium on Medical Devices and Biosensors, s. 102-106 (2007).
39. Kerboua-Zairi Y., Benzaoui A., Belmokhtar O., Kerbache L.: [Medical Decisions Support System (DSS) for Oncology](https://www.researchgate.net/publication/251831056_Medical_Decisions_Support_System_DSS_for_Oncology), [International Conference on Service Systems and Service Management](https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.ieee-pub-000004114390/tab/bContent), s. 393 – 397 (2006)
40. Kohonen, T.: Self-organized formation of topologically correct feature maps. Biological Cybernetics 43(1), 59–69 (1982)
41. Kohonen, T.: Self-Organizing Maps. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York (2001) (wyd. trzecie poprawione).
42. Koppel, R. Metlay J.P., Cohen A., Abaluck B., Localio A.R., Kimmel S.E., Strom, B.L., Role of computerized physician order entry systems in facilitating medication errors. Jama 293(10), 1197-1203 (2005)
43. Kouris I., Tsirmpas C., Mougiakakou S.G., IliopoulouD., Koutsouris D.: E-health towards ecumenical framework for personalized medicine via decision support system. W: Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2010 Annual International Conference of the IEEE, s. 2881-2885 (2010)
44. Van Langenhove L. (red.).: Smart textiles for medicine and healthcare: materials, systems and applications. Elsevier (2007)
45. Lee, C.-S., Wang, M.-H.: A fuzzy expert system for diabetes decision support applica­tion. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics 41, 139-153 (2011, preprint Dec.2009, published on-line 24 May 2010
46. Lemaire J.B., Schaefer J.P., Martin L.A., Faris P., Ainslie M.D., Hull R.D.: Effectiveness of the Quick Medical Reference as a diagnostic tool. CMAJ 161(6): 725-8 (1999)
47. Levashenko, V.; Zaitseva, E.., Fuzzy Decision Trees in medical decision Making Support System. Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS), s. 213-219 (2012)
48. Li X., Liu X., Zhang Z., Xia Y., Qian S.: Design of Health Eating System Based on Web Data Mining. W: WASE International Conference on Information Engineering (ICIE), s. 346-349. (2010)
49. Lin E.-Y., Jan I.C., Ko, P.C.-I. Chen Y.-Y., Wong J.-M., Jan G.-J.: A wireless PDA-based physiological monitoring system for patient transport, IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine 8(4),439-447 (2004)
50. Lorwongtragool, P., Baumann, R.R., Sowade, E., Watthanawisuth, N., Kerdcharoen, T.: A Zigbee-based wireless wearable electronic nose using flexible printed sensor array. In Nanoelectronics Conference (INEC), 2013 IEEE 5th International, pp. 291-293. IEEE, (2013)
51. Lymberis A., Olsson S.: Intelligent biomedical clothing for personal health and disease management: state of the art and future vision. Telemedicine Journal and e-health 9(4), 379-387 (2003)
52. Łukasiewicz J O logice trójwartościowej. Ruch Filozoficny 5:170–171, (1920)
53. Łukasiewicz, J., Tarski, A.: Untersuchungen über den Aussagenkalkül. Comp. Rend. Soc. Sci. et Lettres Varsovie Cl. III 23, 30–50 (1930).
54. McCulloch W., Pitts W.: A Logical Calculus of Ideas Immanent in Nervous Activity. Bulletin of Mathematical Biophysics 5, 115–133 (1943)
55. Miller, R.A., McNeil, M.A., Challinor, S.M., Masarie Jr, F.E., Myers, J.D.: The INTERNIST-1/quick medical REFERENCE project—Status report. Western Journal of Medicine 145(6), 816-822 (1986)
56. Moss, F., Brown, E.: On the recording of notes: information from patients is of little use if not recorded. Postgraduate Medical Journal 85 (1010), 633-633 (2009)
57. Ogiela M.R., Tadeusiewicz R.: Nowe klasy inteligentnych systemów interpretacji danych obrazowych -Systemy UBIAS, Pomiary-Automatyka-Kontrola (PAK Measurement Automation and Monitoring, nr 2/2010, s. 193-196 (2010)
58. Olszewski, T.; Boniecki, P.; Weres J.: Algorytmy genetyczne jako narzędzie optymali­zacyjne stosowane w sieciach neuronowych. Inżynieria Rolnicza 2/2005, 137-143 (2005)
59. Padma, T., Balasubramanie, P.: Domain experts’ knowledge-based intelligent decision support system in occupational shoulder and neck pain therapy. Applied Soft Computing 11, 1762-1769 (2011, available online 8 June 2010)
60. Padmanabhan N., Burstein F., Churilov L., Wassertheil J., Hornblower B., Parker N.: A. Mobile Emergency Triage Decision Support System Evaluation, Proceedings of the 39th Annual Hawaii International Conference on System Sciences vol. 1, s. 3-4 (2006)
61. Patil R.S.: Causal Representation of Patient Illness for Electrolyte and Acid-Base Technical Report MIT/LCS/TR-267 (1981)
62. Patil, R.S., Szolovits, P., Schwartz, W.B.: Modeling knowledge of the patient in acid-base and electrolyte disorders. Artificial Intelligence in Medicine 191-226 (1982)
63. Pauker S. G., Gorry G., Kassirer A J. P., Schwartz W. B.: Towards the Simulation of Clinical Cognition: Taking a Present Illness by Computer, Amer. J. Med. 60, 1976.
64. Pawlak Z. Rough sets. International Journal of Computer & Information Sciences, 11(5), 341–356 (1982)
65. Pawlak Z.: Rough set approach to knowledge-based decision support. European Journal of Operational Research 99(1) 48-57 (1997)
66. Pawlak, Z.; Grzymala-Busse, J.; Slowinski, R.; Ziarko, W.: Rough Sets. Communications of the ACM November 1995/Vol. 38, No. 11, 88-95
67. Piętka E.: Zintegrowany system informacyjny w pracy szpitala. Wydawnictwo Naukowe PWN (2004)
68. Pombo, N., Araújo, P., Viana, J.: Knowledge discovery in clinical decision support systems for pain management: A systematic review. Artificial Intelligence in Medicine 60, 1-11, (2014)
69. Pople, H.E., Myers, J., Miller, R.: DIALOG: A Model Of Diagnostic Logic For Internal Medicine. W: IJCAI, s. 848-855 (1975)
70. Ramesh S.P. Causal Representation of Patient Illness, Electrolyte and Acid-Base Diagnosis, Technical Report MIT/LCS/TR-267 (1981)
71. Riley, L.A.: Applied simulation as a decision support system tool: The design of a new internal medicine facility. W: Proceedings of the 32nd Hawaii International Conference on System Sciences IEEE, s. 6 (1999)
72. Romano, M.J., Stafford, R.S.: Electronic health records and clinical decision support systems: impact on national ambulatory care quality. W: Archives of Internal Medicine 171(10), 897-903 (2011)
73. Ruping, S., Anguita, A., Bucur, A., Cirstea, T.C., Jacobs, B., Torge, A.: Improving the implementation of clinical decision support systems. In Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2013 35th Annual International Conference of the IEEE, pp. 3214-3217 (2013)
74. Sawar, M. J., Brennan T. G., Cole A. J., Stewart J.: An Expert System for Post Operative Care (POEMS), Proceedings of MEDINFO-92, Geneva (1992)
75. Schuh C.J.: Monitoring the fuzziness of human vital parameters, Annual Meeting of the North American Fuzzy Information Processing Society (NAFIPS 2008), s. 1-6 (2008)
76. Shaft, D., Cohen, R.: A Multiagent Approach to Ambulance Allocation Based on Social Welfare and Local Search. W: 12th International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA), s. 384-389 (2013)
77. Shortliffe, E.H.: MYCIN: Computer-based medical consultations. Elsevier, New York (1976)

Skevofilakas M., Zarkogianni, K., Karamanos, B.G., Nikita, K.S.: A hybrid Decision Support System for the risk assessment of retinopathy development as a long term complication of Type 1 Diabetes Mellitus. Preprint (submitted to Annual International Conference of the IEEE Society on Engineering in Medicine and Biology, EMBC, 2010)

1. Skulimowski A.M.J.: Optimal Control of a Class of Asynchronous Discrete-Event Systems. W: Automatic Control in the Service of Mankind. Proceedings of the 11th IFAC World Congress", Vol. 3, s.489-495 (1991)
2. Skulimowski A.M.J.: Decision Support Systems Based on Reference Sets; Wydawnictwo AGH, Monografie, Nr 40, s.165. (1996)
3. Skulimowski A.M.J. : The challenges to the medical decision making system posed by mHealth. The IPTS Report (English ed.), Institute for Prospective Technological Studies; ISSN. Nr 81, s. 4–11 (2004).
4. Skulimowski A.M.J.: Application of Dynamic Rankings to Portfolio Selection. W: New Developments in Financial Modelling. Red.: J.O. Soares, J.P. Pina, M. Catalão-Lopes. Newcastle, CSP Cambridge Scholars Publishing, 2008. Proceedings of the 41st Meeting of the Euro Working Group on Financial Modelling. Lisbon, Portugal, November 8-9, 2007, s. 196-212 (2008)
5. Skulimowski A.M.J.: Future prospects of human interaction with artificial autonomous systems. W: Adaptive and Intelligent Systems : third International Conference, ICAIS 2014, Bournemouth, UK, September 8–10, s.131-141 (2014)
6. Słowiński, K., Stefanowski, J., Siwiński, D.: Application of Rule Induction and Rough Sets to Verification of Magnetic Resonance Diagnosis. Fundamenta Informaticae, vol. 53, no. 3-4, 345-363 (2002)
7. [Song B](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Song%20B%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=20011809), [Wolf KH](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Wolf%20KH%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=20011809), [Gietzelt M](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Gietzelt%20M%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=20011809), [Al Scharaa O](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Al%20Scharaa%20O%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=20011809), [Tegtbur U](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Tegtbur%20U%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=20011809), [Haux R](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Haux%20R%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=20011809), [Marschollek M](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Marschollek%20M%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=20011809), Decision support for teletraining of COPD patients. W: of the 3rd International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare, Proceedings, Connelly K., Arnrich B. (red.) London, April 1-3, 2009. Zaakceptowane do druku również w: [Methods Inf Med.](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20011809)Pervasive Health, Vol. 49 (2009)
8. Stansfield S., Shawver D., Sobel A.: MediSim: A Prototype VR System for Training Medical First Responders. W: Proceedings of the Virtual Reality Annual International Symposium, Atlanta, s. 198-205 (1998)
9. Szolovits P., Pauker S.G.: Categorical and Probabilistic Reasoning in Medical Diagnosis, Artificial Intelligence 11, 115-154 (1978)
10. Szymański J., Wyszukiwanie artykułów medycznych w MEDLINE z wykorzystaniem UMLS. W: Henryk Krawczyk (red.), Inteligentne przestrzenie usług informacyjnych, Wydawnictwo Politechniki Gdanskiej, KASKBOOK, s.177-202 (2009.)
11. Tadeusiewicz, R.; Leper, B.; Borowik, B.; Gąciarz, T.: Odkrywanie właściwości sieci neuronowych: przy użyciu programów w języku C. Wydawnictwa PAU, Kraków (2007)
12. Toscani D,. Archetti F., Quarenghi L., Bargna F., Messina, E., A DSS for assessing the impact of environmental quality on emergency hospital admissions, 2010 IEEE Work­shop on Health Care Management (WHCM), February 18-20, 2010 (p.1-6) (2010)
13. Trivedi M.H., Daly E.J., Kern J.K., Grannemann B.D., Sunderajan P., Claassen C.A.: Barriers to implementation of a computerized decision support system for depression: an observational report on lessons learned in "real world" clinical settings, BMC Medi­cal Informatics and Decision Making 9(6), (p.9), (2009), doi:10.1186/1472-6947-9-6
14. Van Valkenhoef, G., Tervonen, T., Zwinkels, T., De Brock, B., Hillege, H.: ADDIS: a decision support system for evidence-based medicine. Decision Support Systems 55, 459-475 (2013)
15. Vukicevic A.M, Jovicic G.R, Stojadinovic M.M., Prelevic R.I., Filipovic N.D. Evolutionary assembled neural networks for making medical decisions with minimal regret: Application for predicting advanced bladder cancer. In: Expert Systems with Applications 41(18), 8092-8100 (2014)
16. Weiss, S.M., Kulikowski, C.A., Safir, A.: A Model-Based Consultation System for the Long-Term Management of Glaucoma. W: IJCAI, s. 826-832 (1977)
17. Wilschanski M., Yahav Y., Yaacov Y., Blau H., Bentur L., Rivlin J., Aviram M., Bdolah-Abram T., Bebok Z., Shushi L., Kerem, B., Kerem E.: Gentamicin-induced correction of CFTR function in patients with cystic fibrosis and CFTR stop mutations. The New England Journal of. Medicine 349, 1433–1441 (2003)
18. Wyatt, J., Spiegelhalter, D.: Field trials of medical decision-aids: potential problems and solutions. W: Proceedings of the annual symposium on computer application in medical care, American Medical Informatics Association, s.3-7 (1991)
19. Yagi, M., Ohno, H., Takada, K.: Computational Formulation of Orthodontic Tooth-Extraction Decisions. Part II: Which Tooth Should Be Extracted? The Angle Orthodontist 79(5), September 2009, 892-898 (2009)
20. Yang, Hsu-Hao; Wu, Chang-Lun: Rough sets to help medical diagnosis – Evidence from a Taiwan’s clinic. Expert Systems with Applications 36(5), 9293–9298 (2009)
21. Yang, K., Peng, S.Y., Xu, Q.L., Cao, Y.B.: W: Lai, P.C., Mak, A.S.H. (red.), A Study on Spatial Decision Support Systems for Epidemic Disease Prevention Based on ArcGIS. W: Lai, P.C., Mak, A.S.H. (red.), GIS for Health and the Environment: Development in the Asia-Pacific Region, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, s.30-43, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg (2007)
22. Zadeh L.A.: The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning Information Sciences 8(3), 199-249 (1975)
23. Zeliaś, A., Pawełek, B., Wanat, S. (2003). Prognozowanie ekonomiczne. Teoria, przykłady, zadania, PWN, Warszawa.

# Ważne linki

1. <http://www.isabelhealthcare.com/home/default>
2. <http://www.openclinical.org/dss.html>
3. http://www.who.int/classifications/icd/
4. <http://medusa.jrc.it/medisys/homeedition/pl/home.html>
5. [http://www.nlm.nih.gov/research/umls/pdf/UMLS Basics.pdf](http://www.nlm.nih.gov/research/umls/pdf/UMLS%20Basics.pdf)
6. [http://riskcalculator.facs.org](http://riskcalculator.facs.org/)
7. <http://www.webmd.com>
8. <http://www.ihtsdo.org/snome>
9. <http://loinc.org/downloads>,
10. <http://www.hl7.org>
11. <https://en.wikipedia.org/wiki/Diagnosis-related_group>
12. <http://ebm.org.pl>
13. <https://en.wikipedia.org/wiki/Decision_tree>
14. <https://en.wikipedia.org/wiki/Personalized_medicine>
15. http://www.chronious.eu

# Spis rysunków

[Rysunek 1. Dane bibliometryczne dotyczące liczby dziedzin medycyny (brane pod uwagę były dziedziny w których liczba publikacji indeksowanych przez Web of Science dla zapytania „CDSS” była większa od 4) Źródło:Web of Science, opracowanie własne, 2016.05 17](#_Toc493115753)

[Rysunek 2. Aktualna klasyfikacja schorzeń i problemów zdrowotnych wg “International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems” (wg http://www.who.int/classifications/icd, dostęp 02’2013) 19](#_Toc493115754)

[Rysunek 3. Trend bibliograficzny systemów CDSS na tle metod i technik „odkrywania wiedzy” użytkowanych w DSS. Ekstrapolacja metodą trendu adaptacyjnego, dwukrotne wygładzanie eksponencjalne. Źródło: Microsoft ASN (2010), opracowanie własne 24](#_Toc493115755)

[Rysunek 4. Dane bibliometryczne (do roku 2013, przerywana linia) dotyczące ilości publikacji indeksowanych przez Web of Science dla „mobilnego zdrowia” (mHealth), „ubieralnego zdrowia” (wHealth) i obszarów powiązanych oraz przewidywane ilości publikacji (od roku 2014) (źródło: badania własne w WoS 2013’03) 50](#_Toc493115756)

[Rysunek 5. Dane bibliometryczne (do roku 2013, przerywana linia) oraz prognozy wykonane metodą (od roku 2014) dotyczące ilości publikacji indeksowanych przez Web of Science dla obszarów związanych z MDSS i mHealth (źródło: badania własne, 2013’03,) 51](#_Toc493115757)

# Spis tabel

[Tab. 1. Porównanie MDSS i decyzji lekarskich podejmowanych bez wspomagania komputerowego 8](#_Toc493115758)

[Tab. 2. Wybrane implementacje CDSS i ich charakterystyka 11](#_Toc493115759)

[Tab. 3. Klasyfikacja CDSS 14](#_Toc493115760)

[Tab. 4. Zależności pomiędzy stosowanymi metodami, a funkcjonalnościami i zakresem zastosowań MDSS 38](#_Toc493115761)

[Tab. 5. Specjalistyczne zastosowania CDSS 42](#_Toc493115762)

[Tab. 6. Trendy rozwojowe MDSS [wg "Scenariusze i trendy rozwojowe wybranych technologii społeczeństwa informacyjnego do roku 2025. Raport końcowy", 2013, red. Andrzej M. Skulimowski], zidentyfikowane w raporcie Skulimowski i in., 2010, i rekomendowane do dalszej analizy w ramach Zad.4.] 53](#_Toc493115763)

[Tab. 7. Ocena możliwości współpracy z Instytucjami wspomagającymi rozwój systemów eksperckich i MDSS w Polsce w zakresie rozwoju wielopoziomowych systemów wspomagania decyzji w nadzorowanej terapii cukrzycy insulinozależnej 56](#_Toc493115764)

# Wykaz skrótów

|  |  |
| --- | --- |
| ADSS | *Autonomous decision support system*, Autonomiczny system wspomagania decyzji |
| AG | Algorytmy genetyczne |
| ANN | *Artificial neural network*, Sztuczna sieć neuronowa |
| CDSS | *Clinical decision support system*, System wspomagania decyzji klinicznych |
| CT | *Computer tomography.* Tomografia komputerowa |
| DRG | *Diagnosis related groups,* Jednorodne grupy pacjentów |
| DSS | *Decision support system*, System wspomagania decyzji |
| EBM | *Evidence Based Medicine* |
| EHR | Electronic Health Record, Elektroniczny rekord pacjenta |
| HIS | *Hospital Information System,* System informatyczny szpitala |
| ICD | *International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems,* Międzynarodowa Klasyfikacja Chorób |
| IHTSDO | *International Health Terminology Standards Development Organisation,* Międzynarodową Organizacja ds. Rozwoju Standardów Terminologii Medycznej |
| LOINC | *Logical Observation Identifiers Names and Codes,* |
| MDSS | *Medical decision support system*, System wspomagania decyzji medycznych |
| MRI | *Magnetic Resonance Imaging*, Obrazowanie metodą rezonansu magnetycznego |
| MSE | *Medical System Expert*, Medyczny system ekspercki |
| NMR | *Nuclear Magnetic Resonance*, Spektroskopia magnetycznego rezonansu jądrowego |
| PDSS | *Personalized Decision Support System* |
| PCA | *Principal Component Analysis,* Analiza składowych głównych |
| PCNN | *Pulse Coupled Neural Network* |
| PET | *Positron Emission Tomography*, Pozytonowa tomografia emisyjna |
| PM | *Personalized medicine*, Medycyna spersonalizowana |
| PNN | *Probabilistic neural network,* Probabilistyczna sieć neuronowa |
| POWAP | Praktyka Oparta na Wiarygodnych i Aktualnych Publikacjach |
| RTG | *Radioisotope Thermoelectric Generator*, Zdjęcie rentgenowskie |
| SE | System Ekspercki |
| SNOMED | *Systematized Nomenclature of Medicine, standaryzowana terminologia medyczna* |
| SOM | *Self Organising Map*, sieć Kohonena |
| SWD | *System Wspomagania Decyzji* |
| SVM | *Support vector machine*, Metoda wektorów nośnych |
| UMLS | *Unified Medical Language System* |
| USG | Ultrasonografia |
| VR | *Virtual Reality,* Wirtualna rzeczywistość |
| WHO | *World Health Organization,* Światowa Organizacja Zdrowia |
| WMDSS | *Web-based medical decision support system* |
| WoS | *(bibliograficzna baza wiedzy) Web Of Science* |