

Akademia WSB

Dąbrowa Górnicza, Cieszyń, Olkusz, Żywiec, Kraków

Wydział Nauk Stosowanych

mgr Dariusz Nowak-Nova

**KOGNITYWNY SYSTEM WSPOMAGANIA DECYZJI
W ZARZĄDZANIU WARTOŚCIĄ NIERUCHOMOŚCI**

**Autoreferat pracy doktorskiej napisanej pod kierunkiem:
prof. dr hab. Małgorzaty Pańkowskiej**

Dąbrowa Górnicza 2022

Spis treści

1. Przesłanki wyboru tematu pracy.....	3
2. Cele pracy i hipotezy badawcze.....	5
3. Przebieg badań i struktura pracy.....	6
4. Wyniki badań w kontekście hipotez badawczych.....	8
5. Wnioski z badań.....	23
6. Kierunki dalszych badań.....	25
7. Wartość dodana pracy.....	25
8. Plan pracy.....	26

1. Przesłanki wyboru tematu pracy

Motywacją do podjęcia badań będących przedmiotem dysertacji, była zauważona możliwość użycia technologii informatycznych (*Information and Communication Technologies*, ICT), wzbogaconych o obliczenia oparte o algorytmy, sieci neuronowe i uczenie maszynowe, do zalgorytmizowanego kognitywnego wnioskowania ułatwiającego zarządzanie nieruchomościami. Problem naukowy zdefiniowany w pracy, nawiązywał do kontekstu praktycznego, związanego z dopasowaniem sztucznego, „inteligentnego” algorytmu technologii kognitywnych (*Cognitive Computing*, CC) do potrzeb realizacji zadań będących dotychczas domeną ludzką.

Technologie kognitywne opierają się nie tylko na źródłach informacji i przetwarzaniu sygnałów, ale także na kontekstach i rozpoznawaniu obiektów. Do procesów wnioskowania wykorzystują wiele źródeł danych odnajdując wzorce, a następnie stosują je odpowiednio do analizowanej sytuacji. W efekcie, przedstawiają propozycję rozwiązania rozważanego zagadnienia, która jest „najlepsza”, a nie tylko „właściwa”. Ułatwia to podejmowanie decyzji, a tym samym zarządzanie zagadnieniem problemowym. Co ważne, technologie kognitywne rozwijać się mogą samodzielnie w oparciu o prekompilowane schematy obliczeniowe, wykorzystujące stosowane w psychologii kognitywnej schematy pamięciowe, służące do opisywania funkcji ludzkiej pamięci.

W pracy przedstawiono koncepcję systemu wspomaganie decyzji dotyczących zarządzania wartością nieruchomości z wykorzystaniem narzędzi informatycznych i metod kognitywistyki. Założono, że nauczanie komputerów wnioskowania, uczenia się, przewidywania i planowania; zasilane szeregiem różnorodnych danych; stworzy warunki, w których oprogramowanie (w obszarach procesów opartych na działaniach rachujących, przebiegających w pewien uschematyzowany, zrutynizowany sposób); będzie w stanie podjąć najbardziej racjonalną decyzję samodzielnie, bez konieczności nadzorowania całego procesu.

Rozważano zagadnienia dotyczące kompilowania problemów o charakterze obliczeniowym, dobrze nadających się do komputerowego wspomaganie, z zagadnieniami pozatechnicznymi, wymagającymi podejmowania decyzji bez oparcia o logiczne, zaprogramowane wcześniej reguły. Wymagało to skonstruowania narzędzia informatycznego (prototypu), umożliwiającego przeprowadzenie w warunkach laboratoryjnych symulacji, dotyczących zastosowania zautomatyzowanego modelu decyzyjnego odpowiedzialnego za podejmowanie decyzji w obszarze operacyjnego zarządzania wartością nieruchomości.

Definiując tytułowy „system” zaobserwowano, że jego rozumienie bywa różnie definiowane i zależy od kontekstu badawczego. Wprowadzone przez Ludwiga von Bertalanffy’ego¹ współczesne pojęcie systemu rozumianego jako zespół wzajemnie sprzężonych elementów, spełniających określoną funkcję i traktowanych jako wyodrębnione z otoczenia w określonym celu, było podstawą do opisu przedmiotu badania zawartego w pracy. Zgodnie z takim ujęciem rozważano „system” jako zespół sposobów (metod) działania i wykonywania złożonych czynności, jak również całokształt zasad organizacyjnych, ogół norm i reguł obowiązujący w danej dziedzinie.

¹ Ludwig Von Bertalanffy, „The History and Status of General Systems Theory”, *Academy of Management Journal* 15, nr 4 (1972): 407–26.

Badaniom nałożono rygor wytycznych kodeksu postępowania ITIL² (*Information Technology Infrastructure Library*, ITIL), w efekcie pojęcie „system” postrzegano jako zestaw powiązanych elementów współpracujących ze sobą w celu osiągnięcia założonych celów. W tej perspektywie jako elementy rozumiane były procesy, decydenci, polityki, standardy, funkcje i narzędzia; które są planowane i zarządzane w sposób powiązany.

Zarządzanie nieruchomościami zostało unormowane w prawie. Zgodnie z opisaną definicją polega na zapewnieniu: (i) właściwej gospodarki ekonomiczno-finansowej nieruchomości; (ii) bezpieczeństwa użytkowania; (iii) właściwej eksploatacji nieruchomości, w tym, bieżące administrowanie nieruchomością, jak również czynności zmierzające do utrzymania nieruchomości w stanie nie pogorszonym zgodnie z jej przeznaczeniem oraz (iv) uzasadnione inwestowanie w nieruchomość³.

Kształtowanie wartości nieruchomości analizować można w aspekcie finansowym (poziom dochodów z nieruchomości), technicznym (stan techniczny, infrastruktura i wyposażenie), prawnym (warunki najmu, stan prawny), użytkowym (bieżąca obsługa, świadczenie usług pomocniczych, udogodnienia). Obszary te mogą być wspierane technologiami informatycznymi w oparciu o identyfikację poszczególnych czynników dla konkretnej nieruchomości⁴. Wartość nieruchomości może być więc kształtowana przez działania w różnych obszarach zarządzania tj. technicznym, finansowym, prawnym. Dotyczy to także operacyjnego zarządzania związanego z bieżącą eksploatacją i utrzymaniem nieruchomości⁵. Normatywnie odpowiada za to *Facility Management* (FM) jako zorientowane na klienta całościowe świadczenie, którego przedmiotem są kompleksowe zasady podejmowania decyzji dla optymalnego planowania, użytkowania i przystosowania budynków, ich urządzeń, obiektów i świadczeń; które wzmacniane są przez systemy ICT⁶. Koncepcja FM, jako zarządzanie wartością nieruchomości, postuluje dodawanie i utrzymywanie wartości nieruchomości w obszarach rzeczywistego jej stanu oraz ciągłego ulepszania wymagań operacyjnych. Procesy te kontrolowane są poprzez badanie stanu faktycznego dotyczącego: (i) gospodarności, rozumianej jako ocena kontrolowanych zjawisk, procesów gospodarczych i finansowych z punktu widzenia racjonalności i efektywności oraz (ii) celowości, rozumianej jako eliminacje działań niekorzystnych i zbędnych z punktu widzenia interesów organizacji⁷.

Istnieją liczne narzędzia informatyczne wspierające operacyjne zarządzanie nieruchomościami⁸. Narzędzia te wykorzystują ICT do obliczeń statystycznych,

² Ashley Hanna i Stuart Rance, *Glosariusz ITIL® wraz ze skrótami* (Office of Government Commerce, 2011).

³ Dz.U.1997.115.741, „Ustawa z dnia 21 sierpnia 1997 r. o gospodarce nieruchomościami z póź.zm.” (1997).

⁴ Artur Śliwiński i Bartłomiej Śliwiński, *Facility management* (CH Beck, 2006).

⁵ Jan vom Brocke, Jan Recker, i Jan Mendling, „Value-oriented process modeling: Integrating financial perspectives into business process re-design”, *Business Process Management Journal* 16, nr 2 (2010): 333–56.

⁶ Leszek Pruszkowski, „Facility Management jako innowacyjna koncepcja zarządzania procesami pomocniczymi”, w *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, 2012.

⁷ Malcolm Thomas, *Zarządzanie utrzymaniem technicznym i konserwacją budynków*, red. Paweł Nowak (Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2014).

⁸ I.A.A.O., *Standard on Automated Valuation Models (AVMs) - 2018* (Kansas City, MO.: International Association of Assessing Officers, 2018); JCP Cheng i in., „A BIM-based decision support system

dokonywanych głównie do celów fiskalnych czy makroekonomicznych⁹. Rzadkością są opracowania wiążące informatykę z możliwościami obliczeń kognitywnych (*Cognitive Computing*, CC) w kontekście zalgorytmizowanego wnioskowania ułatwiającego zarządzanie nieruchomościami¹⁰.

CC postrzegane jest jako zbiór algorytmicznych zdolności, które mogą zwiększać wydajność, automatyzować coraz bardziej złożone procesy i wypracowywać mechanizmy poznawcze, które symulują zarówno ludzkie myślenie, jak i zaangażowanie. Generują nie tylko odpowiedzi na problemy numeryczne, ale także tworzą hipotezy i zalecenia eliminując subiektywność oraz zwiększając dokładność, gwarantując przy tym szybkość. Charakterystyczne dla nich przetwarzanie informacji, polegające na manipulowaniu reprezentacjami odnoszącymi się do świata zewnętrznego, odbywa się w sposób tak wysoce zorganizowany, że ich działanie może być nazwane inteligentnym. Przyjąć można, że CC to systemy samouczące się, które wykorzystują modele uczenia maszynowego (*Machine Learning*, ML), metody przetwarzania języka naturalnego (*Natural Language Processing*, NLP), probabilistyczne metody niepewnego wnioskowania z wykorzystaniem sieci neuronowych (*Artificial Neural Networks*, ANN) do naśladowania sposobu działania mózgu. Systemy CC „starają się” zrozumieć świat poprzez pomiary i interakcję, zarówno z ekspertami jak i poprzez dane. Różnią się w istotny sposób od systemów informatycznych, które je poprzedzały. Systemy wcześniejszych generacji były deterministyczne, systemy kognitywne są probabilistyczne.

W rozprawie założono, że rozszerzenie możliwości narzędzi informatycznych o potencjał kryjący się w obliczeniach kognitywnych, w sposób istotny może wpłynąć na procesy operacyjnego zarządzania nieruchomościami, a w efekcie wpłynąć na wartość nieruchomości. Taki kontekst przyjęto dla niniejszej dysertacji.

2. Cele pracy i hipotezy badawcze

Głównym celem prowadzonych badań było **opracowanie modelu wspomaganie decyzji dotyczących zarządzania wartością nieruchomości z wykorzystaniem narzędzi informatycznych i metod kognitywistyki**. Dla osiągnięcia celu głównego wyznaczono cele cząstkowe o charakterze teoretyczno-poznawczym, metodycznym oraz empirycznym:

- (C1) Wykazanie zalet stosowania podejścia *Design Science Research* dla badań precyzujących możliwe do zastosowania, dla opracowania modelu wspomaganie decyzji, technologie kognitywne oraz techniki i narzędzia wykorzystujące badania w obszarze kognitywistyki.
- (C2) Systematyzacja i formalny opis obszarów kognitywnego wspomaganie decyzji istotnych dla zarządzania wartością nieruchomości.
- (C3) Przedstawienie aktualnych badań związanych z tematem pracy w zakresie metod, technik i narzędzi kognitywnego wspomaganie decyzji zarządczych.

framework for predictive maintenance management of building facilities”, *16th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering* (Osaka, 2016).

⁹ Robert Bucóń i Michał Tomczak, „Decision-making model supporting the process of planning expenditures for residential building renovation”, *Technological and Economic Development of Economy* 24, nr 3 (2018): 1200–1214.

¹⁰ Jinying Xu i in., „Cognitive facility management”: Definition, system architecture, and example scenario”, *Automation in Construction* 107, nr 2 (2019): 1–25.

- (C4) Opracowanie funkcjonalnego prototypu ontologii tworzącej środowisko badawcze, dla analizy możliwości wykorzystania ontologii dla kognitywnego wspierania procesów zarządzania wartością nieruchomości oraz sterowania logiką kognitywnych algorytmów odpowiedzialnych za zarządzanie.
- (C5) Wskazanie komplementarnych technik biznesowych i informatycznych, opartych o narzędzia i notacje modelowania, niezbędnych dla opracowania wymagań dla demonstratora zautomatyzowanego podejmowania decyzji w obszarze zarządzania wartością nieruchomości.
- (C6) Opracowanie modelu prototypu narzędzia informatycznego dla kognitywnego wspomaganie decyzji w zarządzaniu wartością nieruchomości jako demonstratora dla empirycznych eksperymentów związanych z zastosowaniem automatów decyzyjnych sterowanych przez algorytmy.

Przyjęta w pracy **hipoteza** główna zakładała, że w **obszarze zarządzania wartością nieruchomości istnieją uzasadnione przesłanki dla opracowania opartego o algorytmy technologii kognitywnych modelu hybrydowego systemu wspomaganie decyzji obejmującego zasoby informacyjne, procesy, polityki i praktyki biznesowe, decydentów, funkcje i narzędzia informatyczne**. Hipotezę tą weryfikowano konstruując hipotezy cząstkowe, odpowiadające zagadnieniom rozważanym w kolejnych rozdziałach dysertacji:

- (H1) Podejście *Design Science Research* może ułatwić organizację badań naukowych dotyczących budowy systemów decyzyjnych wykorzystujących technologie kognitywne.
- (H2) Precyzyjne nazwanie poszczególnych komponentów tworzących domenę badawczą dla zakresu pracy ułatwia realizację badań.
- (H3) Istnieją przesłanki dla praktycznego wykorzystania algorytmów technologii kognitywnych, przydatnych do budowy systemu zarządzania wartością nieruchomości, które można zweryfikować za pomocą krytycznego przeglądu literatury.
- (H4) Opracowanie ontologii, umożliwiającej szybką identyfikację wzorców aktywności w procesach zarządzania nieruchomościami, zapewni niezbędne i wymagane reguły do automatycznych wnioskowań uruchomianych w systemie informatycznym opartym o algorytmy technologii kognitywnych.
- (H5) Ugruntowane techniki oraz notacje dla modelowania procesów poprzez swoją komplementarność, ułatwią opracowanie wymagań dla demonstratora zautomatyzowanego podejmowania decyzji w obszarze zarządzania wartością nieruchomości.
- (H6) Zautomatyzowanie podejmowania decyzji, poprzez wykorzystanie sieci neuronowych i uczenie maszynowe prowadzące do zalgorytmizowanego kognitywnego wnioskowania, przynosi zwiększenie wartości nieruchomości.

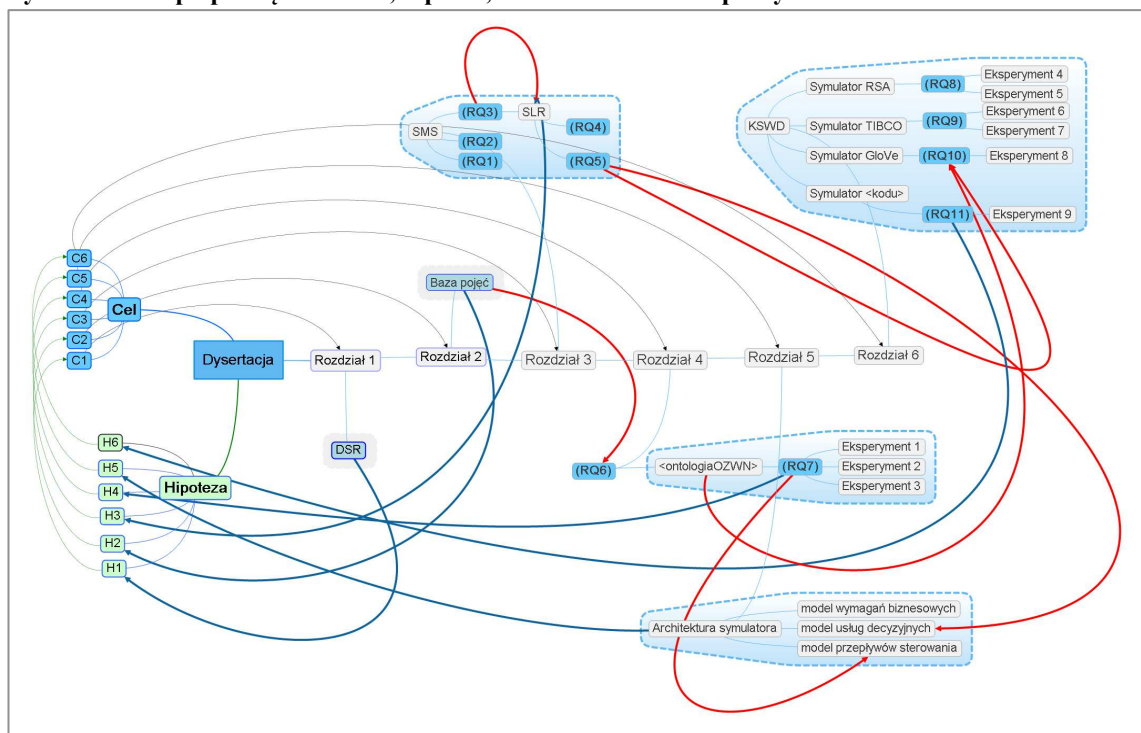
3. Przebieg badań i struktura pracy

Problem badawczy rozwiązywany był poprzez realizację badań szczegółowych o charakterze empirycznym. Badania odpowiadały na konkretne pytania badawcze:

- (RQ1) Czy istnieją opisane przykłady zastosowania technologii kognitywnych (*Cognitive Computing*, CC) w obszarach systemów zarządzania?
- (RQ2) Czy algorytmy technologii kognitywnych (*Cognitive Algorithms*, CA) znajdują zastosowanie w zarządzaniu (*Algorithm-based Management*, AbM)?

- (RQ3) Jakie rodzaje algorytmów technologii kognitywnych (*Cognitive Algorithms*) stosuje się w zarządzaniu (*Management*)?
- (RQ4) Które dziedziny zarządzania (*Management*) są wspierane przez algorytmy technologii kognitywnych (*Cognitive Algorithms*)?
- (RQ5) Czy istnieją dowody na to, że korzystanie z algorytmów technologii kognitywnych (*Cognitive Algorithms*) jest korzystne dla zarządzania (*Algorithm-based Management, AbM*)?
- (RQ6) Czy jest możliwe zaprojektowanie i wdrożenie, w oparciu o istniejące normy, standardy i ontologie dziedzinowe, schematu ontologii dla wykorzystania w kognitywnym wspieraniu procesów zarządzania wartością nieruchomości?
- (RQ7) Czy zaproponowany schemat materializacji ontologii mógłby pomóc w projektowaniu i implementacji wysoce skalowalnych algorytmów wnioskowania?
- (RQ8) Czy transformacja przepływów pracy dla konserwacji naprawczej, w proces konserwacji predykcyjnej, znajduje zastosowanie do zarządzania wartością nieruchomości?
- (RQ9) Czy przekształcenie procesu planowania wydatków w obszarze kosztów związanych z eksploatacją i konserwacją nieruchomości z procesu opartego na pracy ludzkiej, w proces wykorzystujący algorytmy i zautomatyzowane usługi decyzyjne, przynosi wartość, skracając czas przebiegu takiego procesu?
- (RQ10) Czy generalizacja i metody analiz porównawczych, korzystające z sieci neuronowych i uczenia maszynowego, nadają się jako silniki wnioskujące w Automatycznych Modelach Wyceny?
- (RQ11) Uznając, że Automatyczne Modele Wyceny używane są do oszacowania wartości rynkowej nieruchomości na podstawie analizy jej lokalizacji, właściwości i warunków rynkowych, to, czy zastosowanie ich do automatycznej wyceny samych właściwości nieruchomości, przynosi korzyść zarządzającemu taką nieruchomością?

Rysunek 1. Mapa powiązań celów, hipotez, badań i rozdziałów pracy



Źródło: opracowanie własne na podstawie badań

Realizacji celów oraz weryfikacji postawionych hipotez podporządkowano **układ pracy** i jej strukturę. Dysertacja składa się z 6 rozdziałów poprzedzonych Wprowadzeniem i zakończonych Zakończeniem. Rozdziały 1-3 mają charakter teoretyczno-poznawczy, rozdziały 4-5 charakter metodyczny, a rozdział 6 charakter empiryczny. Pojedynczy rozdział realizuje cel cząstkowy oraz weryfikuje postawioną w nim hipotezę cząstkową. Każdy rozdział zawiera także końcowe podsumowanie stanowiące pomost logiczny do rozdziału następnego. Bibliografia obejmuje 306 pozycji literaturowych. W pracy przedstawiono 31 tabel z wynikami oraz 71 rysunków demonstrujących szczegóły badań. Bibliografią zarządzano za pomocą edytora bibliografii *Mendeley* w wersji 1.19.4. *Mendeley*¹¹ to oprogramowanie firmy Elsevier, wspomagające gromadzenie źródeł informacji, ich organizowanie oraz cytowanie. Umożliwia gromadzenie pełnych tekstów, importowanie metadanych oraz tworzenie bibliografii załącznikowej. Do cytowań wykorzystano polski styl bibliograficzny *Zeszyty Prawnicze BAS (Polski)* napisany w języku CSL¹² (*Citation Style Language*).

4. Wyniki badań w kontekście hipotez badawczych

4.1. Podejście *Design Science Research*

4.1.1. Przebieg badania

Badania będące przedmiotem rozprawy realizowano w oparciu o paradygmat znany jako *Design Science Research* (DSR) proponowany przez A.R. Hevnera, który postrzegany jest jako uznany sposób organizacji prac naukowych dotyczących badań wpływu innowacji technologicznych na rzeczywistość. Zgodnie z DSR, badania powinny być realizowane w ściśle określonych ramach koncepcyjnych i według przejrzystych wytycznych umożliwiających ich przeprowadzenie oraz ocenę.

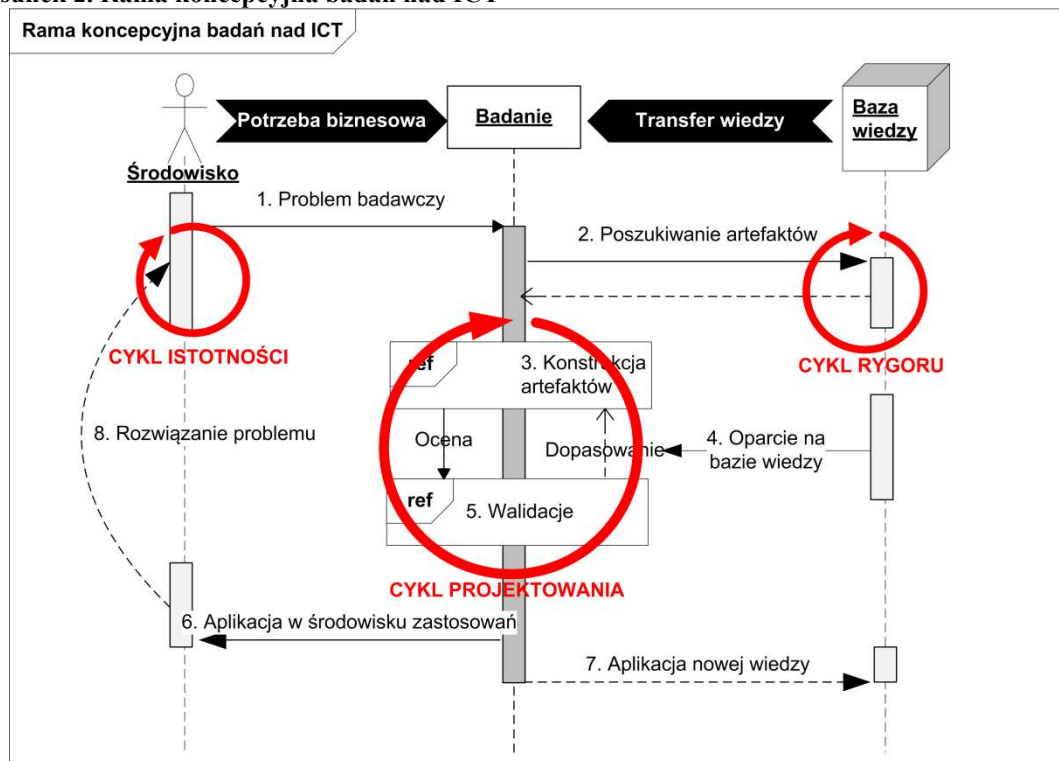
Hevner zauważył, że badania w obszarach zastosowań ICT charakteryzują się dwoma uzupełniającymi się działaniami: (i) opracowywaniem teorii dla zjawisk mających wpływ na zidentyfikowane potrzeby biznesowe, które mają charakter nauk behawioralnych; oraz (ii) tworzeniem artefaktów technicznych zaspokajających te potrzeby, które podlegają rygorom nauk projektowych. Celem jednych jest wyjaśnienie, celem drugich użyteczność. Całość opisuje spójna rama koncepcyjna (*framework*) łącząca oba działania¹³.

¹¹ <https://www.mendeley.com>

¹² https://ekulczycki.pl/warsztat_badacza/polskie-style-cytowan-w-mendeley-jezyk-csl-w-akcji/

¹³ Alan R. Hevner i in., „Design Science in Information Systems Research”, *MIS Quarterly* 28, nr 1 (2004): 75–105.

Rysunek 2. Rama koncepcyjna badań nad ICT



Źródło: opracowanie własne na podstawie Hevner i in. (2004)

Zadaniem budowanych w zgodzie z DSR rozwiązań ICT, jest nie tylko tworzenie artefaktów technicznych, ale także jednocześnie zapewnienie przyrostu wiedzy badanego środowiska, o te zaprojektowane artefakty polepszające możliwości badanego środowiska¹⁴. Środowiska, które zgodnie z DSR jest zbiorem artefaktów takich jak decydenci i ich role, praktyki biznesowe, polityki, standardy, procesy, zasoby informacyjne, technologie i ich funkcje oraz inne elementy techniczne, które są planowane i zarządzane w sposób powiązany, tworząc jednorodny system społeczno-techniczny (*Socio-Technical System, STS*). W tak postrzeganych STS istotne są kwestie interakcji społecznych oraz interakcji technicznych, realizowanych za pomocą elementów technicznych. Charakteryzuje je obecność trzech dopasowanych, współzależnych i współpracujących z sobą podsystemów: (i) społecznego, (ii) technicznego i (iii) środowiskowego, które wpływają na siebie nawzajem za pomocą pętli sprzężenia zwrotnego. Za Di Maio, taki STS w dysertacji określono mianem „zagnieżdżonej holarchii”¹⁵.

4.1.2. Wyniki badania w kontekście hipotez

Stosując DSR warsztat badawczy ukierunkowano na: (i) rozpoznanie i zdefiniowanie domeny badawczej; (ii) opracowanie artefaktów (terminologii, modeli i metod) dla kognitywnego wspomaganie decyzji w zarządzaniu wartością nieruchomości; (iii) stworzenie ontologii oraz demonstratora Kognitywnego Systemu

¹⁴ Alan R. Hevner i in., „Design Science Research in Information Systems”, 2017; Alan R. Hevner i Samir Chatterjee, *Design Research in Information Systems: Theory and Practice*, Springer, t. 2 (Springer New York LLC, 2010); Małgorzata Pańkowska, „Paradygmat badań naukowych Hevnera i in.”, 2016.

¹⁵ Paola Di Maio, „Towards a Metamodel to Support the Joint Optimization of Socio Technical Systems”, *Systems* 2, nr 3 (2014): 273–96; Luis G. Nardin i in., „Classifying sanctions and designing a conceptual sanctioning process model for socio-technical systems”, *Knowledge Engineering Review* 31, nr 2 (2016): 142–66.

Wspomagania Decyzji (KSWD); (iv) zastosowanie wiedzy teoretycznej oraz artefaktów w celu demonstracji w KSWD zakładanych hipotez; (v) ewaluację w KSWD funkcjonalności algorytmów sieci neuronowych, które mają potencjał w procesach zarządzania, w tym zdolność podejmowania decyzji z wykorzystaniem rozwiązań technicznych bez interwencji ludzkiej; (vi) identyfikację potencjalnych zastosowań biznesowych dla badanych artefaktów wykraczających poza domenę badawczą; (vii) opracowanie wiedzy teoretycznej do opisu urzeczywistnionego rozwiązania; (viii) weryfikację i walidację rozwiązania zgodnie z wymaganiami ram projektowych. Budowa modelu oraz demonstratora weryfikującego zachowania algorytmów, przebiegała zgodnie z założeniami metodyki *Agile*¹⁶ i zgodnie z podejściem *DevOps*¹⁷

4.1.3. Wnioski z badania

Badanie potwierdziło, że podejście DSR ułatwia organizację badań naukowych dotyczących budowy systemów decyzyjnych wykorzystujących technologie kognitywne. Zalety DSR koncentrują się na użytecznych, z punktu widzenia użytkownika artefaktach oraz utrzymywaniu ich w precyzyjnie określonym rygorze projektowym. Projekt badania rozpoczyna się od identyfikacji problemu bądź możliwości w badanym środowisku. Określane są precyzyjnie wymagania dotyczące badań wraz z kryteriami akceptacji. Podczas projektu badane są istniejące podstawy wiedzy, tak by zapewnić naukowe i techniczne podstawy, na których zostanie wytworzona nowa wiedza w projekcie. Iteracyjność DSR - tworzenie nowych artefaktów, opisywanie ich, a na ich podstawie tworzenie kolejnych artefaktów - sprawdza się podczas tworzenia nowych rozwiązań ITC do zastosowań biznesowych. Słabą stroną jest konieczność trzymania się rygoru związanego z cofaniem się i opisywaniem oraz oceną z takiej perspektywy przydatności wytworzonego artefaktu. Słabość ta jednocześnie jest najmocniejszą stroną podejścia DSR. Gwarantuje ona powtarzalność badań.

4.2. Modele przeglądów literatury

4.2.1. Przebieg badania

Przedmiotem rozdziału 3 były badania literaturowe mające na celu przedstawienie aktualnych badań związanych z tematem pracy w zakresie metod, technik i narzędzi kognitywnego wspomaganie decyzji zarządczych. Krytycznego przeglądu literatury dokonano dwoma metodami: (i) *Systematic Mapping Study* (SMS) oraz (ii) *Systematic Literature Review* (SLR).

Badanie ilościowe SMS zrealizowane zostało techniką mapowania domen wiedzy (*Mapping Knowledge Domains*, MKD) mającej swoje źródło w badaniach bibliometrycznych. Badania takie określane są również jako *Knowledge Domain Visualization* (KDViz) ponieważ stosowane w nich narzędzia analityczne transformują wyniki na wykresy oraz grafy ilustrujące poziom wiedzy w danym obszarze. Celem badania było empiryczne zidentyfikowanie luk badawczych w obszarze zarządzania nieruchomościami z wykorzystaniem narzędzi technologicznych oraz wskazanie kierunków dalszych badań dotyczących zastosowań technologii kognitywnych. W trakcie badania uwzględniono przeszukiwanie naukowych bibliotek cyfrowych:

¹⁶ Jim Highsmith i Alistair Cockburn, „Agile Software Development: The Business of Innovation”, *Computer* 34, nr 9 (2001): 120–27.

¹⁷ Christof Ebert i in., „DevOps”, *IEEE Software* 33, nr 3 (2016): 94–100; Ramtin Jabbari i in., „What is DevOps? A systematic mapping study on definitions and practices”, w *ACM International Conference Proceeding Series*, 2016, 1–11.

National Academies Press, Semantic Scholar, IEEE Xplore Digital Library, Springer Link, ACM Digital Library, ScienceDirect, WorldCat, Scopus, Wiley. Nie przeszukiwano zasobów sieci Internet. Proces przeszukiwania opierał się na zawężających się o dane uzyskane z wcześniejszego przebiegu iteracjach, opartych o zestawy słów kluczowych odpowiadających kolejnym RQ. Słowa kluczowe rozbudowane były o swoje synonimy. Słowa kluczowe uzyskano po przeprowadzeniu analizy domen badawczych. Wyrażenie logiczne słów kluczowych było następujące:

„obszar badań” **AND** („słowo kluczowe” **OR** (synonim **OR** synonimN)
AND domena

Otrzymane wyniki wyszukiwania zawężane były w kolejnych krokach, tak, by w efekcie uzyskać reprezentatywne dane, które zostały wykorzystane w syntezie badania. W trakcie badania wykorzystano arkusz kalkulacyjny, oprogramowanie *Zotero*¹⁸, *AntConc*¹⁹, *Gephi*²⁰, *Pajek*²¹.

W badaniu jakościowym SLR analizowano literaturę naukową obejmującą publikacje związane z zastosowaniem algorytmów technologii kognitywnych w obszarach systemów zarządzania. Badanie wskazać miało potencjał tkwiący w konkretnych algorytmach w kontekście możliwości ich zastosowania w dysertacji. Badanie przeprowadzono zgodnie z wytycznymi zaproponowanymi przez B.A. Kitchenham (2007)²². Obejmowało ono trzy fazy: (i) Planowanie - określenie potrzeby przeprowadzenia badań, przygotowanie pytań badawczych oraz opracowanie zasad oceny jakości SLR. (ii) Przeprowadzenie badań - identyfikacja domen naukowych, ekstrakcja danych, czyszczenie i selekcja wyników, ocena jakości i synteza danych. (iii) Raportowanie - opracowanie diagramów, przygotowanie i opisanie wniosków.

Proces wyszukiwania opierał się na iteracjach opartych o różne obszary badań oraz różne słowa kluczowe (lub ich synonimy) oraz badane domeny:

„obszar badań” **AND** „słowo kluczowe” **AND** domena

Wyszukiwanie zostało zrealizowane w dwóch etapach. Zastosowano w nich 2 rodzaje filtrowania: (i) Etap 1 (wyszukiwanie pierwotne) - artykuły zostały zeskanowane poprzez odczytanie tytułu, streszczenia, słów kluczowych i wniosków w celu wyeliminowania niepotrzebnych dokumentów. (ii) Etap 2 (wyszukiwanie wtórne) – polegał na przejrzaniu pełnych tekstów artykułów z etapu 1 oraz zastosowaniu kryteriów włączenia/wyłączenia i ocenie jakościowej. Zastosowano łącznie 12 ciągów wyszukiwania dla (RQ3) i (RQ4) i 6 odrębnych ciągów dla (RQ5) w 5 różnych bazach danych. W iteracji 1 wyodrębniono 6 539 publikacji. Badanie powtórzono dla następujących, zawężonych ciągów wyszukiwania (iteracja 2) uzyskując 1 232 publikacje. Zastosowano łącznie 8 ciągów wyszukiwania dla (RQ3) i (RQ4) i 4 odrębne ciągi dla RQ5. Wyszukiwanie wtórne realizowane było za pomocą oprogramowania *Parsifal*²³ w wersji v2.0.2, w którym wyniki podlegały kryteriom włączenia i wyłączenia oraz ocenie jakości (iteracja 3).

4.2.2. Wyniki badania w kontekście hipotez

Przed badaniami opisanymi w rozdziale 3 postawiono hipotezę (H3) mówiącą, że istnieją przesłanki dla praktycznego wykorzystania algorytmów technologii

¹⁸ <https://zotero.org>

¹⁹ <http://www.laurenceanthony.net/software.html>

²⁰ <https://gephi.org/>

²¹ <http://vlado.fmf.uni-lj.si/pub/networks/pajek/>

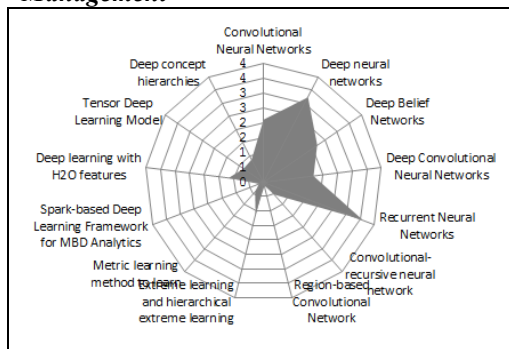
²² Barbara A. Kitchenham, „Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering”, *EBSE Technical Report*, t. 13, 2007.

²³ <https://parsif.al>

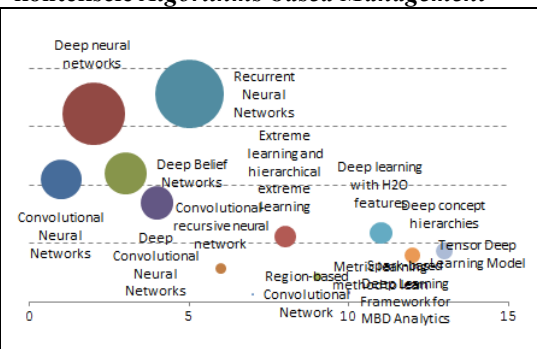
kognitywnych, przydatnych do budowy systemu zarządzania wartością nieruchomości, które można zweryfikować za pomocą krytycznego przeglądu literatury. Hipoteza weryfikowana była za pomocą pytań szczegółowych (RQ1), (RQ2), (RQ3), (RQ4) i (RQ5).

Dla pytania (RQ1) i (RQ2) zbudowano schemat klasyfikacji służący do ekstrakcji danych. Ekstrakcja danych zawartych w bibliotekach cyfrowych została przeprowadzona w oparciu o pięć kolejno wykonywanych zapytań eksplorujących ich zasoby. Uzyskane wyniki poddane zostały dalszej obróbce w celu uzyskania poszukiwanych wzorców. Następnie zrealizowana została wizualizacja wzorców zgodnie z zasadami mapowania ujętymi w SMS. Rysunek 3 prezentuje zidentyfikowane strumienie zastosowań algorytmów w ramach *Algorithms-based Management*. Rysunek 4 syntetyzuje wyniki, demonstrując relacje wielkości pomiędzy zastosowaniem poszczególnych algorytmów. Rysunek 5 wizualizuje potencjał badawczy poszczególnych algorytmów możliwych do zastosowania, wygenerowany na podstawie sieci współwystępowania ich nazw w badanym kontekście.

Rysunek 3. Zidentyfikowane strumienie badawcze w kontekście *Algorithms-based Management*

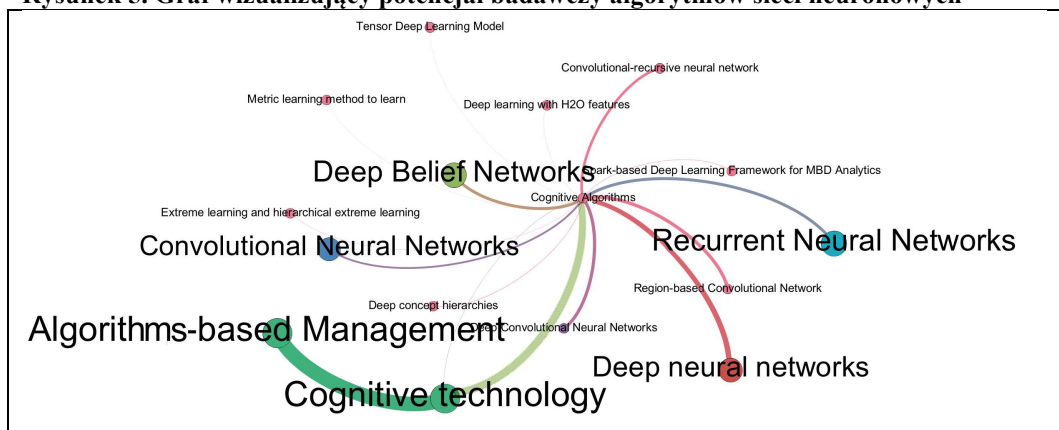


Rysunek 4. Porównanie wielkości poszczególnych subdomen naukowych w kontekście *Algorithms-based Management*



*dla większej czytelności wyników usunięto nazwy algorytmów, które uzyskały poniżej 3%

Rysunek 5. Graf wizualizujący potencjał badawczy algorytmów sieci neuronowych

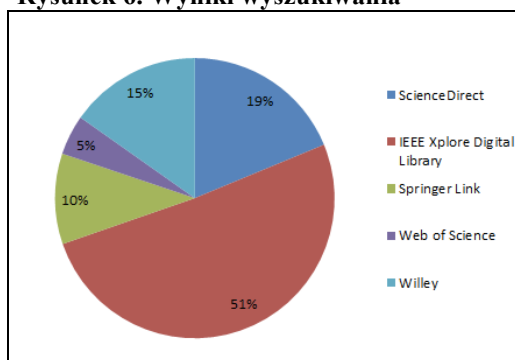


Źródło: opracowanie własne na podstawie badań

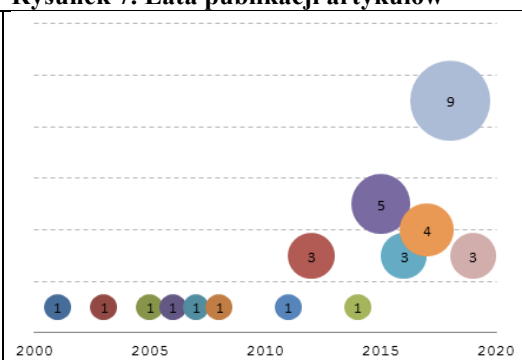
Pytania badawcze (RQ3), (RQ4) i (RQ5) opierały się na wynikach badania (RQ2) tj. zidentyfikowanych zastosowaniach algorytmów technologii kognitywnych w procesach zarządczych. Do badania zostały wybrane algorytmy sieci neuronowych (*Cognitive Algorithms, CA*). Badanie w ramach SLR wskazać miało potencjał tkwiący w konkretnych algorytmach, możliwych do zastosowania w KSWD. Na podstawie

oceny jakościowej wyodrębniono łącznie 48 publikacji. Oceny dokonano przyjmując, że artykuł powinien spełnić przynajmniej 2 z 4 kryteriów jakościowych.

Rysunek 6. Wyniki wyszukiwania



Rysunek 7. Lata publikacji artykułów



Źródło: opracowanie własne na podstawie badań

Algorytmy sieci neuronowych, zgodnie z wynikiem badania (RQ2), zostały podzielone na 12 grup. Wynik badania wskazał na to, że najbardziej przydatnymi dla dalszych badań są algorytmy DNN (13 wystąpień), CNN (8 wystąpień), RNN (4 wystąpienia), DCH (4 wystąpienia), DCNN (4 wystąpienia).

4.2.3. Wnioski z badania

W badaniu (RQ1) i (RQ2) metodą ilościową SMS analizowano literaturę naukową obejmującą publikacje związane z zastosowaniem CI w obszarach systemów zarządzania, w szczególności zarządzania nieruchomościami za pomocą narzędzi technologicznych. Badanie zrealizowane zostało metodą MKD. Narzędziowo zastosowano technikę inżynierii oprogramowania SMS. Wyniki analizy przedstawione zostały za pomocą sieci współwystępowania. Wynik badania potwierdził istnienie luki badawczej w obszarze zastosowań technologii kognitywnych w domenie systemów zarządzania. Badanie pozwoliło także na wskazanie konkretnych, algorytmów znajdujących zastosowanie w procesach zarządzania.

Badanie (RQ3), (RQ4) i (RQ5) miało wskazać jakie rodzaje algorytmów technologii kognitywnych (*Cognitive Algorithms*, CA) stosowane są w zarządzaniu (*Algorithms-based Management*, AbM)? W badaniu metodą jakościową SLR analizowano literaturę naukową obejmującą publikacje związane z zastosowaniem CA w obszarach systemów zarządzania. Głównym efektem badania jest wskazanie dwóch wybijających się architektur algorytmicznych sieci neuronowych możliwych do zastosowania w modelu kognitywnego systemu zarządzania wartością nieruchomości tj. DNN i CNN. Rozważane do zastosowania były także architektury RNN, DCH i DCNN.

4.3. Model koncepcji ontologii do zarządzania nieruchomościami

4.3.1. Przebieg badania

Przedmiotem rozdziału 4 były badania związane z opracowaniem funkcjonalnego prototypu ontologii dziedzinowej dla kognitywnego wspierania procesów zarządzania wartością nieruchomości oraz sterowania logiką kognitywnych algorytmów odpowiedzialnych za zarządzanie. Przegląd aktów prawnych i norm wykazał, że nieruchomości opisywane są różnymi pojęciami. Należało je uwspólnić za pomocą ontologii tj. schematu logicznego powiązań pojęć, ułatwiającego zarządzanie

informacjami tworzącymi badaną rzeczywistość opisaną tym schematem²⁴. W tym celu zrealizowano badania zgodne z pytaniami (RQ6) i (RQ7).

Istotą badania (RQ6) było przedstawienie koncepcji schematu ontologii możliwej do wykorzystania dla kognitywnego wspierania procesów zarządzania wartością nieruchomości, a następnie zmaterializowanie tego schematu w edytorze ontologii *Protégé Desktop Version 5.5.0*²⁵. Opracowanie ontologii rozpoczęto od badania istniejących ontologii, które można ponownie wykorzystać w kontekście badanego problemu. Nie znaleziono jednak odpowiednich ontologii dla domeny docelowej. Możliwe było wykorzystanie fragmentów szkieletów ideowych taksonomii takich jak rejestr *Ewidencji Gruntów i Budynków* (EGiB) zawierający informacje o nieruchomościach oraz specyfikację *Ontologii Biznesowej Instytucji Finansowych* (FIBO)²⁶. Pozostałe nie spełniały stawianych wymagań. Tak więc ontologia domenowa została zdefiniowana od podstaw.

Opracowanie ontologii składało się z następujących procedur: (i) pozyskanie terminów, (ii) identyfikacja modułów ontologii, (iii) indywidualny projekt i (iv) formalizacja ontologii z wykorzystaniem notacji. W procedurze pozyskiwania terminów oprócz klasyfikacji prawnych uwzględnione zostały klasyfikacje zawarte w domenie ontologii finansowych oraz ontologiach sektora gospodarki obszarów FM.

Konstrukcję <ontologii OZWN> oparto metodyce *Methontology*²⁷, która promuje interoperacyjność między aplikacjami wykorzystującymi agentowe komponenty oprogramowania. Metodyka ta wykorzystując standard *IEEE Std 1074-1997 Standard for Developing Software Life Cycle Processes IEEE Standards Board*²⁸ wymaga utworzenia Dokumentu specyfikacji wymagań ontologii (*Ontology Driven Requirement Specification, ODRS*)²⁹ ułatwiającego ocenę poprawności ontologii. W badaniu (RQ6) ODRS posłużył do oceny kompetencyjnej i jakościowej poprawności wytworzenia <ontologii OZWN>.

Jako pytanie badawcze (RQ7) rozważano, czy zaproponowany schemat materializacji może pomóc w projektowaniu i implementacji wysoce skalowalnych algorytmów wnioskowania OWL? Dla uzyskania odpowiedzi na to pytanie przeprowadzono eksperymenty weryfikujące: (i) **Eksperyment 1:** Opracowanie schematu materializacji ontologii zarządzania wartością nieruchomości (OZWN) (poziom taksonomii, predykcji i partycypacji dla schematu materializacji); (ii) **Eksperyment 2:** Zastosowanie mechanizmu wnioskującego dla OZWN; (iii) **Eksperyment 3:** Badanie wielokrotnego użytku zastosowania OZWN (ponowne użycie).

²⁴ W. Gliński, *Ontologie, próba uporządkowania terminologicznego chaosu*, Instytut Informatyki Naukowej i Studiów Bibliologicznych UW (Dostępny w Internecie: <http://bbc.uw.edu.pl/Content/20/13.pdf> [dostęp: 5.9.2020]), 2010.

²⁵ <https://protege.stanford.edu/products.php>

²⁶ <https://spec.edmcouncil.org/fibo>

²⁷ M. Fernández-López, A. Gómez-Pérez, N. Juristo, *METHONTOLOGY: From Ontological Art Towards Ontological Engineering* [w] *AAAI Computer Science*, 1997.

²⁸ I.E.E.E. Computer Society, „IEEE Std 1074-1991 Standard for Developing Software Life Cycle Processes”, Pub. L. No. 1074 (1991).

²⁹ Steffen Staab i in., „Knowledge processes and ontologies”, *IEEE Intelligent Systems and Their Applications* 16, nr 1 (2001): 26–34.

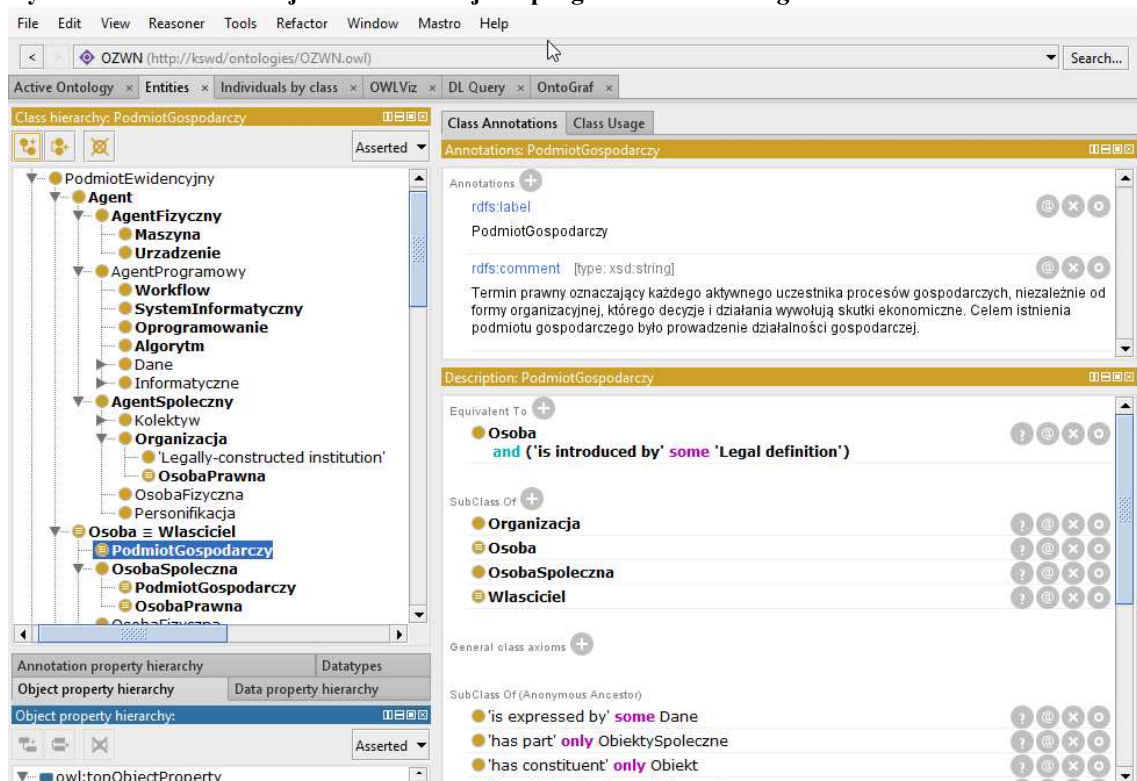
4.3.2. Wyniki badania w kontekście hipotez

W badaniu (RQ6) zaprojektowano ustrukturyzowany i formalnie poprawny model semantyczny opisujący procesy zarządzania wartością (*Value Based Management*, VBM) nieruchomości, który umożliwił uruchomienie wysoce skalowalnych algorytmów (*Algorithm-based Management*, AbM) technologii kognitywnych (*Cognitive Algorithms*, CA), a następnie go zmaterializowano w postaci ontologii <ontologia OZWN> podlegającej badaniu laboratoryjnemu.

Schemat objął występujące w przepisach prawnych, normach standaryzacyjnych oraz specyfikacjach, uporządkowane i jednoznacznie zdefiniowane terminy, reprezentowane za pomocą <pojęć>. Wszystkie zidentyfikowane relacje zachodzące pomiędzy tymi terminami reprezentowano za pomocą <właściwości>. Schemat materializacji był zgodny z semantyczną strukturą ontologii *OWL-Protege* w notacji *Manchester*, umożliwiającą uruchamianie zaawansowanych reguł wnioskowania z użyciem logik deskrypcyjnych (*Description Logics*, DL). W badaniu zrealizowano 7 scenariuszy przypadków użycia, w efekcie których stwierdzono, że <ontologia OZWN> spełniła wszystkie rygory jakościowe wymagane przez ODRS.

Po spełnieniu wymogów jakościowych dotyczących poprawności wytworzenia, <ontologia OZWN> podlegała badaniu kompetencyjnemu. Weryfikowano wymagania funkcjonalne (pytania badawcze dotyczące zakresu ontologii) oraz niefunkcjonalne (pytania badawcze dotyczące formalizacji ontologii) zawarte w ODRS. W efekcie stwierdzono, że <ontologia OZWN> spełniła wszystkie rygory kompetencyjne wymagane przez ODRS. Tym samym potwierdzono spełnianie przez <ontologię OZWN> standardów i norm w zakresie inżynierii ontologii.

Rysunek 8. Hierarchizacja klas w interfejsie oprogramowania *Protégé*



Źródło: opracowanie własne na podstawie badań

W badaniu (RQ7) została przedstawiona strategia materializacji ontologii w ramach semantyki OWL. Następnie została ona sformalizowana i uruchomiona w

edytorze ontologii *Protégé*, w którym badano poziom taksonomii, predykcji i partycypacji. Przeprowadzono także eksperymenty dotyczące mechanizmów wnioskowania oraz wielokrotnego użycia. W efekcie realizacji eksperymentów weryfikujących stwierdzono, że powstała <ontologia OZWN> zawiera poprawne mechanizmy wnioskowania umożliwiające jej zastosowanie dla kognitywnego wspierania procesów zarządzania wartością nieruchomości, które realizowane mogą być z zastosowaniem wielu aplikacji do zarządzania opartych o algorytmy (*Algorithm-based Management*, AbM) oraz technologie kognitywne (*Cognitive Algorithms*, CA).

4.3.3. Wnioski z badania

Ontologia budowana dla KSWD może być wykorzystywana w systemach lub aplikacjach do integracji i wymiany informacji między aplikacjami. <ontologia OZWN> może służyć do komunikacji maszynowej pomiędzy systemami działającymi w oparciu o wspólną konceptualizację domeny nieruchomości.

Zastosowana struktura pojęć <ontologii OZWN> daje możliwości wydajnego zarządzania i rozbudowy modelu ontologii, także w zakresie właściwości poszczególnych pojęć oraz ich obecnych i przyszłych relacji, w tym ujawnianie nowych powiązań bez niszczenia (usuwania) funkcjonujących powiązań relacyjnych. Rozbudowa może być realizowana, łączona i utrzymywana zgodnie z uzgodnionym i wyraźnym modelem.

Utrzymanie i ewolucja modelu jest zadaniem krytycznym i może stać się „wąskim gardłem”, jeśli nie będzie on odpowiednio monitorowany, szczególnie w zakresie nowelizacji zmian w zakresie prawa obowiązującego.

Model <ontologii OZWN>, pomimo objęcia swym zakresem szerokiego spektrum domen dziedzinowych (prawo, finanse, procesy pomocnicze itd.) opracowany został do obsługi systemu KSWD mającego na celu zweryfikowanie hipotez badawczych wynikających z zakresu dysertacji. Istnieje prawdopodobieństwo, że objęty badaniem obszar jest niewystarczający do ogólnej wymiany informacji z innymi systemami, ponieważ inne strony mogą stosować inne modele. Dlatego, w celu wymiany informacji pomiędzy systemami wymagane jest uruchomienie mechanizmów mediacyjnych np. poprzez uruchomienie wymiany informacji za pomocą usług web services. W przeciwnym wypadku model można wykorzystać tylko wewnętrznie

Efektom badania (RQ6) i (RQ7) była poprawnie wytworzona <ontologia OZWN>, która umożliwia przeprowadzanie automatycznych wnioskowań za jej pomocą, a tym samym zapewnia zaawansowane usługi KSWD, takie jak: (i) wyszukiwanie i wyszukiwanie pojęciowe/semantyczne, (ii) wspieranie kognitywnych agentów oprogramowania uruchamianych w procesach zarządzania wartością nieruchomości, (iii) kierunkowe nadzorowanie mechanizmów *workflow* odpowiadających za usługi decyzyjne (iv) materializację schematów wnioskowań opartych o usługi algorytmiczne.

4.4. Badanie procesów oraz automatów decyzyjnych sterowanych przez algorytmy

4.4.1. Przebieg badania

Przedmiotem rozdziału 6 były badania demonstratora Kognitywnego Systemu Wspomagania Decyzji (KSWD), modeli procesów zorientowanych na wartość oraz automatów decyzyjnych sterowanych przez algorytmy. Pytania badawcze (RQ8), (RQ9), (RQ10) i (RQ11) służyły weryfikacji KSWD poprzez uruchamianie w nim modeli procesów stanowiących element domeny *Facility Management* (FM) opracowanej przez konsorcjum stowarzyszeń zarządzających obiektami *International*

Facility Management Association (IFMA), w obszarze operacyjnym, budżetowania oraz kontroli zarządczej i wyceny. Jako środowisko techniczne wykorzystano oprogramowanie *IBM Rational Software Architect* (RSA)³⁰ w wersji 9.7. Do badania efektywności działania poszczególnych procesów wykorzystano oprogramowanie *TIBCO Business Studio*³¹ w wersji 4.2.0.

Dla wszystkich eksperymentów wchodzących w ten zestaw badań, jako dane wejściowe, przyjęto informacje dotyczące nieruchomości będących w zarządzie organizacji odpowiedzialnej za gospodarowanie i zarządzanie łącznie 446 budynkami mieszkalnymi, 180 mieszkalno-użytkowymi, oraz 372 budynkami użytkowymi, w których znajduje się 14009 lokali mieszkalnych i 1235 lokali użytkowych. Jako dane dotyczące przeprowadzonych prac remontowych, konserwacyjnych i modernizacyjnych w lokalach, w ostatnich trzech latach, przyjęto liczbę 1201 wyremontowanych lokali mieszkalnych niezasiedlonych, 545 lokali mieszkalnych zasiedlonych oraz 174 wyremontowanych lokali użytkowych. Dla prowadzonych w ostatnich trzech latach robót przyjęto liczbę 48 remontów ogólnobudowlanych, 20 robót instalacyjnych, 3 roboty wykończeniowe, 28 opracowań projektowych, 16 opinii i ekspertyz technicznych oraz 102173 prac naprawczych i skutków awarii. Dane dostarczano w postaci plików płaskich, wyekstrahowanych z systemów informatycznych wykorzystywanych do bieżącego zarządzania nieruchomościami, semantycznych plików PDF i DOCX oraz arkuszy kalkulacyjnych. Dla potrzeb badań transformowano je do postaci tekstowej TXT.

W badaniu (RQ8), dotyczącym poziomu operacyjnego, analizowany był przypadek wytworzenia procesu zdolnego do identyfikowania i raportowania potencjalnych potrzeb remontowych, spowodowanych stanem oraz zużyciem nieruchomości (komunikowanie uszkodzeń). Cykl obejmował cały proces: od przeglądu lub zidentyfikowania potrzeby lub awarii, wspierania prac remontowo-modernizacyjnych, aż do momentu rozliczenia i zamknięcia zlecenia oraz wzbogacenia modelu informacyjnego o informacje dotyczące zrealizowanych prac. W badaniu przeprowadzono 2 eksperymenty: (i) **Eksperyment 4**: Proces konserwacji naprawczej (korektywnej) oraz (ii) **Eksperyment 5**: Proces konserwacji predykcyjnej (zapobiegawczej). Dla potrzeb badań laboratoryjnych uruchamiano demonstrator, w którym modele procesów przekształcono w artefakty techniczne, tworząc <obiekty> reprezentowane za pomocą <kodu> możliwego do uruchomienia w prototypie narzędzia informatycznego. Artefakty kategoryzowane były za pomocą powstałej w badaniu (RQ6) <ontologii OZWN> umożliwiającej kognitywne wspieranie procesów zarządzania wartością nieruchomości. Model architektoniczny demonstratora uwzględniał cztery główne perspektywy służące jego ocenie: (i) model przypadków użycia (*Use-Case View*) oddający biznesowe aspekty współbieżności i synchronizacji realizowanych przez KSWD; (ii) model analityczny (*Logical View*) przedstawiający <obiekty> tworzące KSWD; (iii) model projektowy (*Deployment View*) odzwierciedlający statyczną reprezentację <kodu> w jego środowisku programistycznym; (iv) model implementacyjny (*Implementation View*) mapujący powstałe rozwiązania na konkretne środowisko technologiczne.

W badaniu (RQ9) rozpatrywany był proces planowania wydatków w obszarze kosztów związanych z eksploatacją i konserwacją nieruchomości na rok przyszły. W

³⁰ <https://www.ibm.com/developerworks/downloads/r/architect/index.html>

³¹ <https://www.tibco.com/resources/datasheet/tibco-business-studio>

badaniu weryfikowano, czy przekształcenie procesu planowania wydatków z procesu opartego na pracy ludzkiej, w proces wykorzystujący algorytmy i zautomatyzowane usługi decyzyjne, przynosi wartość, skracając czas przebiegu procesu? Badanie przeprowadzono za pomocą oprogramowania *TIBCO Business Studio*. W badaniu przeprowadzono 2 eksperymenty: (i) **Eksperyment 6**: Proces planowania oparty na pracy ludzkiej oraz (ii) **Eksperyment 7**: Proces planowania wykorzystujący algorytmy i zautomatyzowane usługi decyzyjne. Przedmiotem symulacji było opracowanie przedmiaru robót dla prac remontowych w budynku mieszkalnym wielorodzinnym, składającym się z jednej klatki schodowej, podpiwniczonym, z trzema pełnymi kondygnacjami nadziemnymi oraz poddaszem z lokalami mieszkalnymi, będącym jednym z budynków tworzących osiedle mieszkaniowe, na które składa się 9 podobnych budynków. W budynku znajduje się 15 lokali mieszkalnych. Należało oszacować zakres oraz koszty robót przy założeniu konieczności wykonania niezbędnych prac wynikających z przeglądów technicznych oraz opisanych w nich zaleceń, a także zweryfikować, czy mijają terminy kolejnych przeglądów, które mogą wykazać, na podstawie stanu budynków podobnych stanowiących osiedle, konieczność przeprowadzenia następnych prac remontowych. Podstawę do sporządzania kosztorysów robót stanowiły dokumentacja projektowa, specyfikacja techniczna wykonania i odbioru robót budowlanych, założenia wyjściowe do kosztorysowania, ceny jednostkowe robót podstawowych oraz Katalogi Nakładów Rzeczowych będące klasyfikatorem robót budowlanych i podstawą normatywną dla wyceny robót budowlanych. Szacowane koszty przygotowane zostały z wykorzystaniem oprogramowania Norma PRO w wersji 4.7³².

W badaniu (RQ10) weryfikowano czy generalizacja i metody analiz porównawczych, korzystające z sieci neuronowych i uczenia maszynowego, nadają się jako silniki wnioskujące w automatycznych modelach wyceny? Badanie zrealizowano za pomocą **Eksperymentu 8** polegającego na uruchomieniu trzech różnych architektur algorytmicznych sieci neuronowych, wskazanych w badaniu (RQ5) jako możliwe do zastosowania w modelu kognitywnego systemu zarządzania wartością nieruchomości tj. DNN, CNN oraz RNN. Badanie polegało na realizacji zadania nadzorowanego uczenia maszynowego (*Supervised Learning*), na zbiorach danych zawierających dokumenty tekstowe oraz ich <Etykiety> (metainformacje). Analizie podlegał czas wykonywania operacji obliczeniowych oraz kompletność informacji. W badaniu, strumień danych (*data pipeline*) pochodzący ze źródeł statystycznych (bazy danych w postaci plików płaskich), dzielony był na coraz mniejsze części dla trzech różnych zakresów informacji dotyczących ewidencji, najmu oraz eksploatacji zasobów nieruchomości. W eksperymencie przeprowadzone zostały trzy przebiegi zestawów danych, z wykorzystaniem modelu *GloVe*³³, będącego algorytmem uczenia maszynowego (*Machine Learning*, ML), służącego do uzyskiwania reprezentacji wektorowych dla pojęć, poprzez ich mapowanie na przestrzeń, w której odległość między pojęciami jest związana z podobieństwem semantycznym: *k*-średnich (wykorzystywana w klasteryzacji) lub *k*-najbliższych sąsiadów (*k-nearest neighbor algorithm*). Narzędziowo skorzystano z biblioteki *Keras*³⁴, umożliwiającej szybkie eksperymentowanie z sieciami neuronowymi. Każdy przebieg był dzielony na mniejsze części, które pozwalały na przetwarzanie równoległe. Zestaw 1 zawierał dane dotyczące rekordów tworzących <Usługę Ewidencji>, zestaw 2 dotyczył rekordów <Usługi Najem>, a zestaw 3

³² <http://alatea.pl/pliki/programy/kosztorysowanie/norma-pro-program-do-kosztorysowania.html>

³³ <https://nlp.stanford.edu/projects/glove>

³⁴ <https://keras.io>

<Usługi Eksploatacja>. Dla stworzenia modelu językowego tzw. korpusu (ang. *corpus*), za pomocą funkcji biblioteki *Keras* każde słowo dopełniono z lewej strony znacznikami <s> i z prawej </s> oraz utworzono wszystkie możliwe n-gramy (od 1-gramów do N-gramów). Transformacji podlegały dane zawarte w kolumnach: Dane ogólne, Adres, Nr domu, Ilość bud.M, Ilość bud.U, kategoria, Rok bud., Rok przeję. (na podst. ks. śr. trw.), Kubat., Ilość lokali ogół., Pow. lokali ogół., Ilość lokali sprzed., Pow. lokali sprzed., Ilość lok. kom., Pow. lokali kom., Lokale Użytkowe, Garaże ze śr.wł., Garaże komunalne, Boksy motocyklowe, Budynki razem, Księga wieczysta, Obręb, Nr działki, Pow. działki, Nr księgi wiecz., Własność, Decyzja komunalizacyjna, Stan władania właściciel/władający, % udział m.st. Warszawy, Uwagi. Przykładowy opis kolumny dotyczący Dane ogólne przyjął postać: [('<s>',), ('<s>',), ('dane',), ('ogólne',), ('<eos>',), ('</s>',), ('</s>',)]

Struktura modelu maszyny wnioskującej zastosowanej w eksperymencie, składała się z modułów odpowiedzialnych za wykonywane funkcje, tworzące razem cykl procesowy sprzężenia zwrotnego i ciągłego doskonalenia się modułów tworzących cykl. Zastosowano moduły: (i) <Planowanie> jako moduł odpowiadający za projektowanie celów i zawierający specyfikację kryteriów, wskaźników i zmiennych dla wydajności procesu. (ii) <Analiza i decyzja> jako moduł wykorzystujący zmienne i proponujący rozwiązania. (iii) <Polityki kontroli> nadzorujący dotrzymywanie przez proces rygorów normatywnych oraz wprowadzający korekty zachowania procesu. (iv) <Stan decyzyjny> będący modułem prezentującym najlepsze decyzje będące efektem procesu decyzyjnego.

W badaniu (RQ11) stanowiącym **Eksperyment 9**, uznając, że Automatyczne Modele Wyceny (*Automated Valuation Models*, AVMs) używane są do oszacowania wartości rynkowej nieruchomości na podstawie analizy jej lokalizacji, właściwości i warunków rynkowych, weryfikowano, czy zastosowanie AVMs do automatycznej wyceny samych właściwości nieruchomości, przynosi korzyść zarządzającemu taką nieruchomością. W badaniu uwzględniono właściwości nieruchomości z badania (RQ8) i (RQ9). Badanie zrealizowano w prototypie narzędzia informatycznego, wytworzonego w Eksperymencie 5, w którym uruchamiano proces automatycznych modeli wyceny, opartych o zautomatyzowane usługi decyzyjne, które do ustalenia wartości używają modelu pomiaru wartości za pomocą algorytmów technologii kognitywnych. Badano czy uruchamiane niezależnie <Modele pomiaru wartości> dla zautomatyzowanych usług kognitywnych <Zasób Lokalowy>, <Ewidencja>, <Najem> i <Eksploatacja> działają poprawnie i dokonują obliczeń nie zaburzając całego sekwencyjnego procesu realizowanego przez <Szybnę usług>.

Proces specyfikacji modelu identyfikował cechy właściwości (zmienne), które mają wpływ na strukturę modelu, następnie wybierał odpowiedni model <Procesu biznesowego> oraz w efekcie, rozwijał go na podstawie odnalezionych danych. Kalibracja modelu polegała na wyprowadzaniu aktualnych współczynników dla wcześniej określonych zmiennych. Nowe zmienne powstawały poprzez transformacje. Podstawowe kroki przebiegały według schematu zaproponowanego jako standard wykorzystywania AVMs: (i) ustalenie zakresu, (ii) identyfikacja danych, (iii) eksploracyjna analiza danych, (iv) stratyfikacja, (v) określenia reprezentatywności danych, (vi) specyfikacja modelu, (vii) kalibracja modelu, (viii) zapewnienie jakości, (ix) zastosowanie modelu i przegląd wartości³⁵. W KSWD kroki (ii-ix) realizowane były przez działające sekwencyjnie w <Szybnie usług> poszczególne usługi

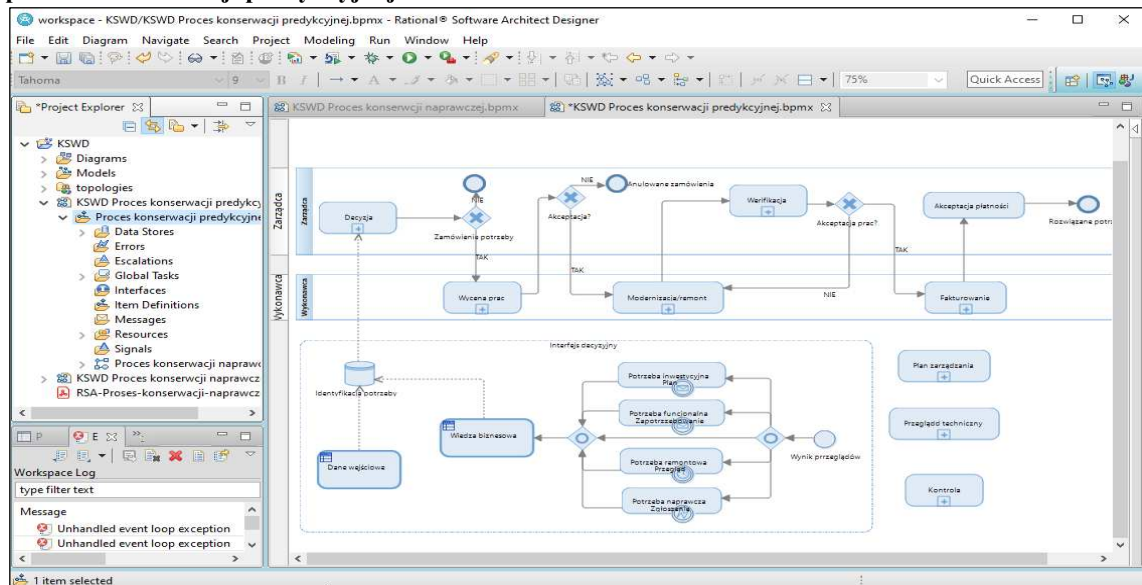
³⁵ I.A.A.O., *Standard on Automated Valuation Models (AVMs) - 2018*.

kognitywne. KSWD udostępniał interfejs, na którym dla <Dział Zasobów> prezentowane były wszystkie wymagane i niezbędne do gospodarowania nieruchomością informacji dotyczące nieruchomości. Badaniu podlegała sprawność wykonania wszystkich założonych operacji przy założeniu ich kompletności.

4.4.2. Wyniki badania w kontekście hipotez

W badaniu (RQ8) potwierdzono, że istnieją techniczne przesłanki umożliwiające oparcie procesu identyfikowania i raportowania potencjalnych potrzeb remontowych na możliwym do produkcyjnego uruchomienia rozwiązaniu technologicznym, wykorzystującym ontologię do sterowania logiką decyzyjną algorytmów. W oprogramowaniu *IBM Rational Software Architect* (RSA) stanowiącym demonstrator Kognitywnego Systemu Wspomagania Decyzji (KSWD) wytworzono poprawnie działające, w notacji BPMN, modele procesów planowania wydatków w obszarze kosztów związanych z eksploatacją i konserwacją nieruchomości, które następnie podlegały badaniu (RQ9).

Rysunek 9. Interfejs *IBM Rational Software Architect Designer* sterujący przepływami pracy dla procesu konserwacji predykcyjnej

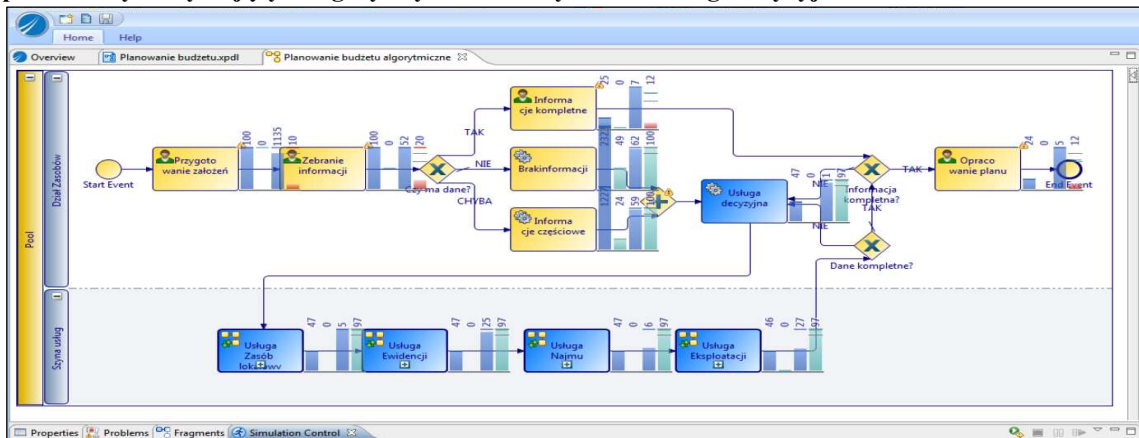


Źródło: opracowanie własne na podstawie badań

W badaniu (RQ9) przedmiotem symulacji było opracowanie przedmiaru robót dla prac remontowych. Badanie przeprowadzono za pomocą oprogramowania *TIBCO Business Studio*. Przeprowadzona w Eksperymentcie 6 symulacja wykazała, że konieczność manualnego uzupełnienia danych, powoduje spadek wydajności kosztowej całego procesu. Nie wpływa to bezpośrednio na spadek ilości spraw zrealizowanych w procesie, ale generuje znaczne opóźnienia wynikające z oczekiwania na dane uzyskiwane w działaniach poprzednich. Potwierdzono w ten sposób bezpośrednią zależność pomiędzy koniecznością dysponowania kompletem informacji niezbędnych do dalszych wyliczeń na początku zadania, a efektywnością procesu. Sumaryczny koszt procesu planowania opartego na pracy ludzkiej wyceniony został na 7 641,52 zł, a czas jego trwania na 28 dni. Przeprowadzona w Eksperymentcie 7 symulacja wykazała, że w wypadku kroków realizowanych przez algorytmy i zautomatyzowane usługi decyzyjne, stan wyjściowy nie ma znaczenia dla płynności i czasu przebiegu procesu kompletowania informacji. Poziom efektywności procesu wyniósł 98% przy poprawnie

zrealizowanych zadaniach. Sumaryczny koszt procesu planowania opartego na pracy ludzkiej wyceniony został na 4 901,00 zł, a czas jego trwania na 11,4 dnia.

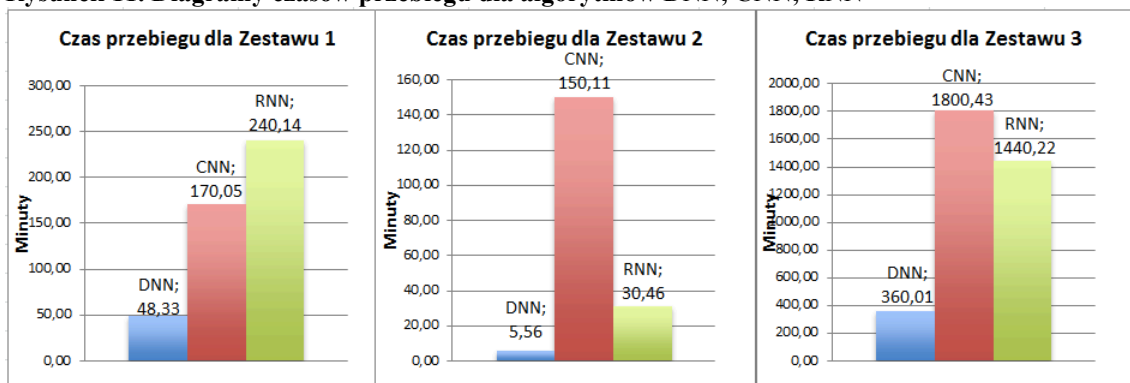
Rysunek 10. Interfejs TIBCO Business Studio prezentujący wartości poszczególnych działań w procesie wykorzystującym algorytmy i zautomatyzowane usługi decyzyjne



Źródło: opracowanie własne na podstawie badań

W badaniu (RQ10) badano architektury sztucznych sieci neuronowych wskazane w badaniu (RQ5) jako najlepsze do zastosowania w modelu kognitywnego systemu zarządzania wartością nieruchomości. Wyniki badania wskazały, że najlepszą dokładność walidacji wraz z wysoką spójnością osiągnął algorytm DNN. Pozostałe, to jest CNN oraz RNN osiągały także wysoką dokładność, jednak nie są one tak spójne we wszystkich zestawach danych. Model DNN przewyższył pozostałe dwa modele (CNN i RNN) pod względem czasu, niezależnie od wielkości próbek. Czas przebiegu algorytmu DNN dla zestawu 1 <Usługa Ewidencji> wyniósł 48,33 min. (maksymalny to 240,14 min.), dla zestawu 2 <Usługa Najem> 5,56 min. (maksymalny to 150,11 min.), a dla zestawu 3 <Usługa Eksploatacja> 360,01 min. (maksymalny to 1800,43 min.). Można wskazać, że algorytm DNN najlepiej nadaje się do zastosowań przemysłowych w obszarach zarządzania nieruchomościami, zapewniając dotrzymanie terminowości dostarczania poprawnych danych, poprzez ciągłe monitorowanie wykonywanych operacji oraz najdokładniejsze mechanizmy korygowania zaburzeń przebiegów, wykazując jednocześnie najwyższy wskaźnik trafień.

Rysunek 11. Diagramy czasów przebiegu dla algorytmów DNN, CNN, RNN

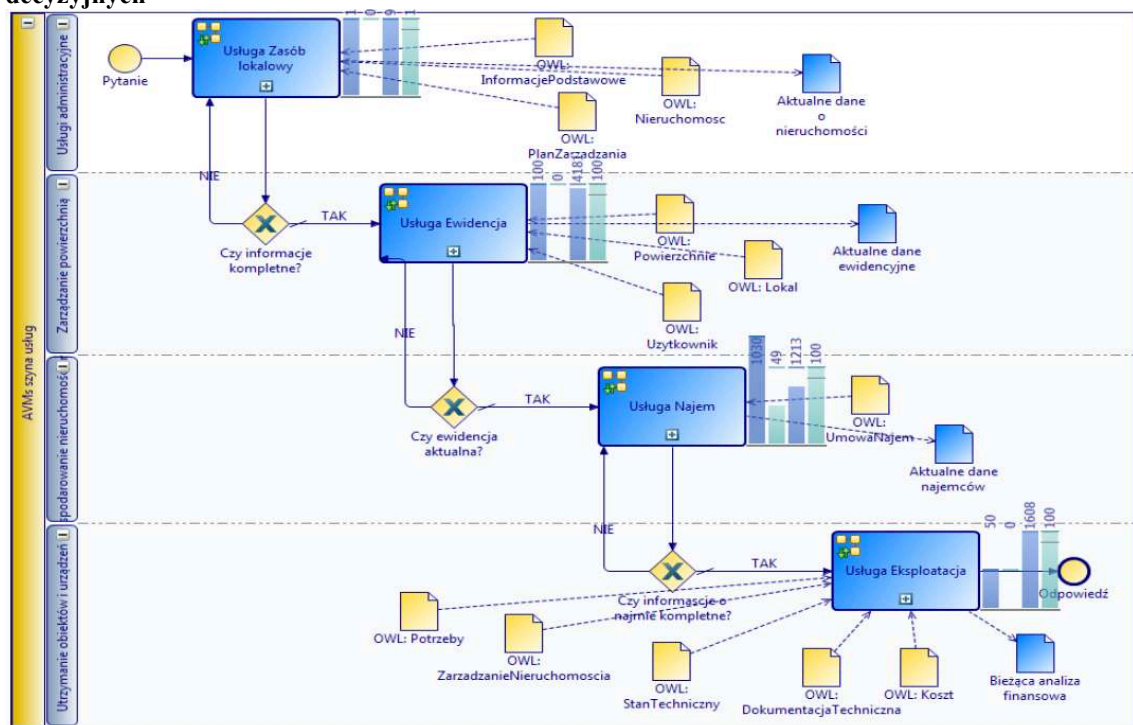


Źródło: opracowanie własne na podstawie badań

W badaniu (RQ11) badano czy uruchamiane niezależnie <Modele pomiaru wartości> dla zautomatyzowanych usług kognitywnych <Zasób Lokalowy>, <Ewidencja>, <Najem> i <Eksploatacja> działają poprawnie i dokonują obliczeń nie

zaburzając całego sekwencyjnego procesu realizowanego przez <Szybę usług>. Przeprowadzona w badaniu symulacja wykazała, że uruchamiane niezależnie dla każdej z usług kognitywnych <Modele pomiaru wartości> działają poprawnie i dokonują obliczeń nie zaburzając całego sekwencyjnego procesu realizowanego przez <Szybę usług>. W wypadku każdej kognitywnej usługi, sprawność jej efektywności wynosiła 100%. Najwięcej ponownych przebiegów, poszukujących właściwych asocjacji w dostarczanych sekwencjach danych, dotyczyło <Usługi Najmu>. Powodowane jest to ilością obiektów do zweryfikowania oraz dużą, naturalną dynamiką związaną z kształtowaniem się umów najmu. Co istotne, nie zaburzyło to <Usługi Eksploatacja>, która odpowiada, za dostarczenie najbardziej odpowiedniej decyzji prezentującej poszukiwaną wartość. Przebieg procesu realizowany był całkowicie przez <Agenty> będące artefaktami technicznymi. Uczestniczyły w nim <Agent Algorytm>, <Agent Workflow>, <Agent Oprogramowanie> i <Agent System>.

Rysunek 12. Proces sekwencyjnie uruchamianych kognitywnych usług w szynie usług w notacji BPMN w interfejsie TIBCO Business Studio prezentujący efektywność zautomatyzowanych usług decyzyjnych



Źródło: opracowanie własne na podstawie badań

4.4.3. Wnioski z badania

W badaniu (RQ8) potwierdzono, że istnieją techniczne przesłanki umożliwiające oparcie procesu identyfikowania i raportowania potencjalnych potrzeb remontowych na możliwym do produkcyjnego uruchomienia rozwiązaniu technologicznym, wykorzystującym ontologię do sterowania logiką decyzyjną algorytmów.

W badaniu (RQ9) wykazano, że w wypadku zastosowania algorytmów i zautomatyzowanych usług decyzyjnych w procesach planowania, stan wejściowy nie ma znaczenia lub ma znaczenie minimalne, dla efektu całego procesu

W badaniu (RQ10) wykazano, że algorytm DNN najlepiej nadaje się do zastosowań przemysłowych w obszarach zarządzania nieruchomością, zapewniając dotrzymywanie terminowości dostarczania poprawnych danych, poprzez ciągłe monitorowanie wykonywanych operacji oraz najdokładniejsze mechanizmy

korygowania zaburzeń przebiegów, wykazując jednocześnie najwyższy wskaźnik trafień.

Badanie (RQ11) potwierdziło, że AVMS mogą zostać wykorzystane do automatycznej wyceny właściwości charakteryzujących nieruchomości przynosząc tym samym korzyść (w postaci kosztu oraz czasu poświęconego na realizację zadań) zarządzającemu nieruchomością.

5. Wnioski z badań

Głównym celem prac przedstawionych w rozprawie było **opracowanie modelu wspomaganie decyzji dotyczących zarządzania wartością nieruchomości z wykorzystaniem narzędzi informatycznych i metod kognitywistyki**. Weryfikowano hipotezę główną, stanowiącą, że **w obszarze zarządzania wartością nieruchomości istnieją uzasadnione przesłanki dla opracowania opartego o algorytmy technologii kognitywnych modelu hybrydowego systemu wspomaganie decyzji obejmującego zasoby informacyjne, procesy, polityki i praktyki biznesowe, decydentów, funkcje i narzędzia informatyczne**.

Tabela 1. Bilans weryfikacji postawionych hipotez badawczych

Nr	Treść hipotezy cząstkowej	Wnioski, sposób udowodnienia hipotezy
H1	Podejście <i>Design Science Research</i> ułatwia organizację badań naukowych dotyczących budowy systemów decyzyjnych wykorzystujących technologie kognitywne.	Hipotezę potwierdzono. Rozpoznano domenę badawczą, opracowano wiedzę i użyteczne, z punktu widzenia użytkownika, artefakty techniczne, które następnie weryfikowano empirycznie. Realizacja badań odbywała się w sposób iteracyjny, pozwalający na tworzenie nowych artefaktów na podstawie wyników wcześniejszych eksperymentów przy jednoczesnej aktualizacji wiedzy.
H2	Precyzyjne nazwanie poszczególnych komponentów tworzących domenę badawczą dla zakresu pracy ułatwia realizację badań.	Hipotezę potwierdzono. Tytuł rozprawy został rozbity na szkielet znaczeniowy: <kognitywny> + <<system> + <wspomaganie> + <decyzji>> w <<<zarządzaniu> + <wartością>> + <nieruchomości>>>. Dla wyodrębnionych pojęć opracowano definicje. Dla każdej definicji wskazano ekosystem, w którym funkcjonuje oraz kontekst podlegający dalszym badaniom.
H3	Istnieją przesłanki dla praktycznego wykorzystania algorytmów technologii kognitywnych, przydatnych do budowy systemu zarządzania wartością nieruchomości, które można zweryfikować za pomocą krytycznego przeglądu literatury.	Hipotezę potwierdzono. Poprzez mapowanie domen wiedzy zawężano kolejno zakres analizowanej literatury przedmiotu. Badanie ilościowe SMS (RQ1 i RQ2) potwierdziło, że technologie kognitywne są obecne w systemach zarządzania, oraz że korzystanie z algorytmów technologii kognitywnych jest korzystne dla zarządzania. W badaniu jakościowym SLR (RQ3, RQ4 i RQ5) wskazano możliwe do zastosowania w modelu kognitywnego systemu zarządzania wartością nieruchomości algorytmy tj. DNN, CNN, RNN.
H4	Opracowanie ontologii, umożliwiającej szybką identyfikację schematów	Hipotezę potwierdzono. W przepisach prawnych, normach oraz specyfikacjach zidentyfikowano terminy domeny

	aktywności w procesach zarządzania nieruchomościami, zapewni niezbędne i wymagane reguły do automatycznych wnioskowań uruchomianych w systemie informatycznym opartym o algorytmy technologii kognitywnych.	nieruchomości. Utworzono dla nich schemat modelu semantycznego, który poddano badaniu. Badanie (RQ6) potwierdziło, że zaprojektowany model można zmaterializować jako artefakt techniczny i poddać badaniu laboratoryjnym edytorze ontologii <i>Protégé</i> . W badaniu laboratoryjnym (RQ7) potwierdzono, że artefakt techniczny <ontologia OZWN> zawiera poprawne mechanizmy wnioskowania, umożliwiające jej zastosowanie dla kognitywnego wspierania procesów zarządzania wartością nieruchomości.
H5	Ugruntowane techniki oraz notacje dla modelowania procesów, poprzez ich komplementarność, ułatwią opracowanie wymagań dla demonstratora zautomatyzowanego podejmowania decyzji w obszarze zarządzania wartością nieruchomości.	Hipotezę potwierdzono. Opisano komplementarne techniki biznesowe i informatyczne, oparte o narzędzia i notacje modelowania, niezbędne dla opracowania wymagań dla demonstratora zautomatyzowanego podejmowania decyzji w obszarze zarządzania wartością nieruchomości. Opracowano model narzędzia informatycznego dla kognitywnego wspomaganie decyzji.
H6	Zautomatyzowanie podejmowania decyzji, poprzez wykorzystanie sieci neuronowych i uczenie maszynowe prowadzące do zalgorytmizowanego kognitywnego wnioskowania, przynosi zwiększenie wartości nieruchomości.	Hipotezę potwierdzono. W środowisku technicznym <KSWD> wytworzono artefakty techniczne, a następnie przeprowadzono eksperymenty badawcze mające na celu zbadanie efektów zachowania algorytmów sieci neuronowych (RQ8, RQ9). Zweryfikowano poprawność wyników uzyskiwanych przez uruchamiane w sposób zautomatyzowany algorytmy technologii kognitywnych (RQ10, RQ11).

Źródło: opracowanie własne na podstawie badań

Przeprowadzone badania, w szczególności wytworzenie artefaktów technicznych w postaci: (i) <ontologii OZWN> zawierającej poprawne mechanizmy wnioskowania oraz (ii) demonstratora Kognitywnego Systemu Wspomaganie Decyzji <KSWD>, w którym uruchamiano w sposób zautomatyzowany algorytmy technologii kognitywnych dla procesów zorientowanych na wartość w obszarze operacyjnym, budżetowania oraz kontroli zarządczej i wyceny domeny *Facility Management*, potwierdziły, że demonstrator <KSWD> znajduje się na 5 poziomie gotowości technologicznej TRL (*Technology Readiness Level*) tj. dokonano walidacji technologii w środowisku zbliżonym do rzeczywistego. Możliwe jest więc, poprzez rozszerzenie możliwości narzędzi informatycznych nadzorujących procesy operacyjnego zarządzania nieruchomościami, o potencjał kryjący się w obliczeniach kognitywnych, wpływanie na wartość nieruchomości.

Dodatkowo, poprzez wyodrębnienie <Agentów Workflow> i wykorzystanie ich do zarządzania rutynowymi zadaniami związanymi z bieżącym administrowaniem informacjami dotyczącymi nieruchomości, możliwe staje się zarządzanie realizowane zgodnie z koncepcją automatyzacji robotycznej procesów biznesowych (*Robotic Process Automation, RPA*).

6. Kierunki dalszych badań

Prowadzone badania pozwoliły dostrzec nowe wyzwania, w szczególności:

1. Rozprawa koncentruje się na opisie systemu zarządzania wykorzystującego automaty decyzyjne sterowane przez algorytmy w domenie zarządzania nieruchomościami. Przy czym, zastosowane zostały generalne zasady wnioskowania z wykorzystaniem maszyn wnioskujących. Zachowana została łatwość modyfikacji obszaru zastosowań przy zmianie specyfikacji. O rodzaju domeny decyduje ontologia dziedzinowa. Pod rozwagę może być brany wątek badawczy dotyczący uniwersalnej maszyny wnioskującej, sterowanej różnymi ontologiami, przy założeniu, że $\langle \text{ontologia } A \rangle$ działa w domenie A, $\langle \text{ontologia } B \rangle$ działa w domenie B itd. Zamiana ontologii zmienia obszar zastosowania systemu bez wpływu na logikę decyzyjną jego algorytmów.
2. W skali służącej do określenia gotowości technologicznej danego rozwiązania technologicznego, demonstrator Kognitywnego Systemu Wspomagania Decyzji znajduje się na 5 poziomie TRL (*Technology Readiness Level*) tj. dokonano walidacji technologii w środowisku zbliżonym do rzeczywistego. Możliwa jest ewaluacja powstałego artefaktu technologicznego w warunkach przemysłowych, w środowisku zbliżonym do naturalnego, z partnerami biznesowymi.
3. W roku 2017 zatwierdzony został Europejski Standard Wyceny³⁶ dotyczący wykorzystywania opartych na statystyce Automatycznych Modeli Wyceny (*Automated Valuation Models, AMWs*)³⁷. Standard ten zdefiniował AMWs jako oparty na statystyce program komputerowy, który wykorzystuje dane o nieruchomościach (np. ceny porównawcze oraz charakterystyki nieruchomości) do generowania związanych z nieruchomościami wartości lub sugerowanych wartości pozyskiwanych bezpośrednio przez zastosowanie matematycznego algorytmu do analizy baz cen transakcyjnych i cech nieruchomości bez tradycyjnej wyceny (np. opartej na podejściu porównawczym lub dochodowych) oraz bez oceny jakościowej dokonanej przez rzeczoznawcę. Kolejnym wątkiem badawczym może być opracowanie kognitywnego systemu automatycznej wyceny nieruchomości stanowiącego narzędzie do modelowania wycen, w oparciu o niepełną lub niepewną wiedzę o środowisku, w którym znajduje się nieruchomość (moduły systemu: bazy wiedzy, maszyna wnioskująca, interfejs komunikacyjny człowiek-maszyna).

7. Wartość dodana pracy

W trakcie prac służących osiągnięciu celu głównego i wykazaniu tezy rozprawy wypracowano oryginalne rezultaty badań. Zgodnie z paradygmatem DSR zostały one skategoryzowane na dwa obszary:

1. Rezultaty zapewniające przyrost wiedzy badanego środowiska:
 - i. Systematyzacja i formalny opis obszarów kognitywnego wspomaganie decyzji istotnych dla zarządzania wartością nieruchomości.
 - ii. Przedstawienie aktualnych badań w zakresie kognitywnego wspomaganie decyzji zarządczych oraz wskazanie wybijających się architektur

³⁶ TEGoVA, European Valuation Standards EVS2016 (The European Group of Valuers' Associations, 2016).

³⁷ TEGoVA, EVS 6 Automated Valuation Models (AVMs), 2017.

- algorytmicznych sieci neuronowych możliwych do zastosowania w zarządzaniu wartością nieruchomości.
- iii. Wskazanie komplementarnych technik biznesowych i informatycznych, opartych o narzędzia i notacje modelowania, niezbędnych dla opracowania wymagań dla demonstratora zautomatyzowanego podejmowania decyzji w obszarze zarządzania wartością nieruchomości.
 - iv. Opracowanie modelu narzędzia informatycznego dla kognitywnego wspomaganie decyzji w zarządzaniu wartością nieruchomości.
2. Artefakty techniczne polepszające możliwości badanego środowiska:
- i. Poprawnie zmaterializowana <ontologia OZWN> dla kognitywnego wspierania procesów zarządzania wartością nieruchomości oraz sterowania logiką algorytmów odpowiedzialnych za zarządzanie.
 - ii. Środowisko demonstratora <KSWD> do realizacji eksperymentów związanych z zastosowaniem automatów decyzyjnych sterowanych przez algorytmy.
 - iii. Zgodne ze standardem wykonywalnych modeli decyzyjnych notacji *Decision Modeling Notation*³⁸ (DMN) modele procesów zorientowanych na wartość w obszarze operacyjnym, budżetowania oraz kontroli zarządczej i wyceny domeny *Facility Management*.
 - iv. Model kognitywnego procesu decyzyjnego, wykorzystującego algorytmy sztucznych sieci neuronowych i uczenie maszynowe, jako silnik wnioskujący oparty o logikę decyzyjną obsługującą Diagramy Wymagań Decyzji (*Decision Requirements Diagram, DRD*)³⁹.

8. Plan pracy

Wprowadzenie

Rozdział 1. Metody, techniki i narzędzia badawcze

1. Wstęp do opisu organizacji badań
2. Porównanie metodyk badawczych systemów informatycznych
 - 2.2. Metodyki projektowania badań naukowych
 - 2.3. Przegląd istniejących metodyk DSR
3. Podejście *Design Science Research*
 - 3.1. Artefakty badania
 - 3.2. Środowisko przestrzeni badawczej
 - 3.3. Proces badawczy
 - 3.4. Baza wiedzy w podejściu Hevnera
4. Modele przeglądów literatury
 - 4.1. Typologia przeglądów literatury
 - 4.2. Rygor przeglądu literatury
 - 4.3. Metody zastosowanych badań literaturowych
5. Model koncepcji ontologii do zarządzania nieruchomościami
 - 5.1. Zakres obszaru dziedzinowego ontologii
 - 5.2. Ontologia w wymiarze technologicznym
 - 5.3. Narzędzie do conceptualizacji ontologii
6. Model ścieżki technologicznej dla konstrukcji symulatora kognitywnego zarządzania wartością nieruchomości
 - 6.1. Perspektywa architektury sterowanej modelami
 - 6.2. Technologiczna warstwa modelowania decyzji
 - 6.3. Narzędzie konstrukcji symulatora
 - 6.4. Narzędzie do walidacji, symulacji i oceny efektywności procesów
 - 6.5. Silniki zautomatyzowanych przepływów pracy
 - 6.6. Narzędzia weryfikacji algorytmów kognitywnych
7. Podsumowanie zastosowanych metod, technik i narzędzi badawczych

³⁸ OMG DMN Guide, *Decision Model And Notation: Version 1.2*, 2019.

³⁹ R. Chrisley, A. Sloman, *Architectural requirements for consciousness* [w] *Proceedings of EUCognition 2016 "Cognitive Robot Architectures"*, 2017, 31-37.

Rozdział 2. Przegląd istotnych komponentów tworzących domenę badawczą pracy

1. Wstęp do przeglądu istotnych komponentów definicyjnych
2. Kognitywne pozyskiwanie informacji
 - 2.1. Nauki kognitywne
 - 2.2. Kognitywistyka
 - 2.3. Informatyka kognitywna
 - 2.4. Paradygmat komputacyjny
3. Analiza cech kognitywnego przetwarzania danych
 - 3.1. Inteligencja obliczeniowa
 - 3.2. Obliczenia kognitywne
 - 3.3. Kognitywne przetwarzanie danych
4. Definicje i klasyfikacje wzorców systemów wspomaganie decyzji
 - 4.1. Spójna całość jako system
 - 4.2. Wspomaganie poprzez klasyfikacje oraz rekomendację wyboru
 - 4.3. Decyzja jako świadomy wybór wariantu
 - 4.4. Komputerowe wspomaganie podejmowania decyzji
 - 4.5. Inteligentny System Wspomaganie Decyzji
5. Składowe procesu tworzenia wartości
 - 5.1. Istota czynności zarządzania
 - 5.2. Racjonalne wpływanie na działanie
 - 5.3. Wartość jako kategoria
 - 5.4. Proces sterowania wartością
6. Identyfikacja celów organizacji zarządzającej nieruchomościami
 - 6.1. Pojęcie prawne nieruchomości
 - 6.2. Zarządzanie nieruchomością
 - 6.3. Wartość nieruchomości
7. Podsumowanie przeglądu istotnych komponentów definicyjnych

Rozdział 3. Identyfikacja potencjalnych algorytmów technologii kognitywnych do zastosowań w kontekście problemu badawczego

1. Wstęp do badań literaturowych
2. Opis zastosowanych metod badania literaturowego
 - 2.1. Metoda ilościowa SMS
 - 2.2. Metoda jakościowa SLR
 - 2.3. Przedmiot badania literaturowego
3. Badanie ilościowe metodą SMS
 - 3.1. Pytania badawcze w badaniu SMS
 - 3.2. Proces wyszukiwania w badaniu SMS
 - 3.3. Jakościowy przegląd wyników badania SMS
 - 3.4. Budowanie schematu klasyfikacji badania SMS
 - 3.5. Ekstrakcja i mapowanie rezultatów badania SMS
 - 3.6. Dyskusja dla badania SMS
 - 3.7. Synteza badania SMS
4. Badanie jakościowe metodą SLR
 - 4.1. Pytania badawcze dla badania SLR
 - 4.2. Cele i zakres SLR
 - 4.3. Proces wyszukiwania w badaniu SLR
 - 4.4. Kryteria włączenia i wyłączenia wyników badania SLR
 - 4.5. Kryteria oceny jakości badania SLR
 - 4.6. Zbieranie danych dla badania SLR
 - 4.7. Analiza danych badania SLR
 - 4.8. Rezultaty badania SLR
 - 4.9. Dyskusja badania SLR
 - 4.10. Synteza badania SLR
5. Podsumowanie systematycznego przeglądu literatury

Rozdział 4. Koncepcja schematu ontologii dla kognitywnego wnioskowania

1. Wstęp do schematu ontologii dla kognitywnego wnioskowania
2. Ewolucja ontologii
 - 2.1. Modelowanie ontologiczne
 - 2.2. Ontologie dziedzinowe
3. Ontologie w zastosowaniach informatycznych
 - 3.1. Strategia budowania ontologii
 - 3.2. Zalecany proces tworzenia ontologii
 - 3.3. Notacja do przedstawienia wiedzy ontologicznej

- 3.4. Narzędzia i języki ontologiczne
 - 3.5. Wsparcie narzędziowe
 - 4. Klasyfikacja ontologii
 - 4.1. Ontologie oparte na języku naturalnym
 - 4.2. Ontologie oparte na informacjach i ich schematach
 - 4.3. Ontologie językowe / terminologiczne
 - 4.4. Ontologie języków modelowania
 - 4.5. Ontologie formalne
 - 5. Proces projektowania ontologii zarządzania wartością nieruchomości
 - 5.1. Specyfikacja wymagań ontologii
 - 5.2. Konceptualizacja ontologii
 - 6. Formalizacja modelu koncepcyjnego
 - 6.1. Budowa ontologii
 - 6.2. Implementacja modelu instancji
 - 6.3. Materializacja ontologii OZWN
 - 7. Ocena ontologii
 - 7.1. Wizualizacja informacji w oparciu o ontologię
 - 7.2. Wynik badań kompetencyjnych ontologii OZWN
 - 7.3. Wyniki badania jakościowego ontologii OZWN
 - 8. Badanie zastosowania ontologii OZWN do obsługi nieruchomości
 - 8.1. Eksperyment 1: Opracowanie schematu materializacji OZWN
 - 8.2. Eksperyment 2: Zastosowanie mechanizmu wnioskującego dla OZWN
 - 8.3. Eksperyment 3: Badanie wielokrotnego użytku zastosowania OZWN
 - 9. Podsumowanie koncepcji schematu ontologii dla kognitywnego wnioskowania
- Rozdział 5. Ramy modelowania symulatora do badań laboratoryjnych
- 1. Wstęp do modelowania symulatora do badań laboratoryjnych
 - 2. Ramy konceptualne modelu architektury dla wspierania decyzji
 - 2.1. Komputerowe wspomaganie decyzji
 - 2.2. Kategorie technologiczne DSS
 - 2.3. Kategorie operacyjne DSS
 - 3. Modelowanie i symulacja dla obszarów badawczych
 - 3.1. Podejście *Model Driven Architecture* (MDA)
 - 3.2. Topologia modeli MDA
 - 4. Narzędzia modelujące możliwości algorytmów kognitywnych
 - 4.1. Notacja decyzyjna
 - 4.2. Modelowanie decyzji dla KSWD
 - 4.3. Zunifikowany język modelowania
 - 4.4. Silniki zautomatyzowanych przepływów pracy
 - 5. Podsumowanie opisu ram modelowania symulatora badań
- Rozdział 6. Koncepcja modelu architektury dla Kognitywnego Systemu Wspomagania Decyzji
- 1. Wstęp do koncepcji modelu architektury KSWD
 - 2. Architektura projektu w środowisku wytwórczym *IBM Rational Software Architect*
 - 2.1. Model przypadków użycia (architektura procesu)
 - 2.2. Model analityczny (architektura logiczna)
 - 2.3. Model projektu (architektura programistyczna)
 - 2.4. Model implementacyjny (architektura fizyczna)
 - 3. Modelowanie procesów zorientowane na wartość
 - 3.1. Ramy pomiaru wartości procesów
 - 3.2. Pomiar na poziomie operacyjnym
 - 3.3. Pomiar na poziomie budżetowania
 - 4. Automatyczne modele wyceny
 - 4.1. Ramy systemu kontroli zarządczej
 - 4.2. Pomiar wartości dla nieruchomości
 - 5. Podsumowanie koncepcji modelu architektury
- Zakończenie
- Bibliografia
- Spis źródeł internetowych
- Spis tabel
- Spis rysunków