

dr hab. Małgorzata Przybyła-Kasperek, prof. UŚ
Instytut Informatyki
Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych
Uniwersytet Śląski w Katowicach
ul. Będzińska 39, 41-205 Sosnowiec

Katowice, 04.05.2023r.

**Recenzja osiągnięcia habilitacyjnego, dorobku naukowego, dydaktycznego
i organizacyjnego dr inż. Rafała Dei w związku z postępowaniem o nadanie stopnia
naukowego doktora habilitowanego**

Niniejsza recenzja została przygotowana na zlecenie Dyrektora Instytutu Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk w odpowiedzi na pismo BA3-0005-1/23 z dnia 31 marca 2023 roku w związku z powołaniem Komisji Habilitacyjnej w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego Panu dr inż. Rafałowi Dei.

Dr inż. Rafał Deja ma tytuł magistra inżyniera informatyki uzyskany na Politechnice Śląskiej w 1992 roku. Stopień doktora nauk technicznych w zakresie informatyki uzyskał w Instytucie Podstaw Informatyki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie w 2001 roku za pracę o zastosowaniu teorii zbiorów przybliżonych w analizie konfliktów.

Opis i ocena osiągnięcia naukowego

Recenzja osiągnięcia naukowego p.t. *Metody sztucznej inteligencji w modelowaniu dynamiki procesów chorobowych z danych i wiedzy dziedzinowej* została wykonana na podstawie dokumentacji, w tym załączonego cyklu 10 prac opublikowanych w latach 2009-2022. Cztery z tych prac [A3, A4, A7, A8] zostały opublikowane w czasopismach z listy ICR. Cztery prace [A1, A2, A5, A6] zostały opublikowane w materiałach konferencyjnych uznanych konferencji międzynarodowych, które są wykazywane w bazie Web of Science. Pozostałe dwie prace [A9, A10] zostały opublikowane jako rozdziały w monografiach naukowych, również są wykazywane w bazie Web of Science. Habilitant przy każdej z przedstawionych publikacji omawia swój merytoryczny wkład włożony w daną publikację. Wkład Habilitanta w przedstawionych pracach jest znaczący. W czterech z nich jest on całościowy, natomiast w większości z pozostałych wkład dotyczy: zaproponowania koncepcji rozwiązania, opracowania algorytmu, przeprowadzenia eksperymentów i przygotowania pierwszej wersji artykułu. Prace te są powiązane tematycznie – zgodnie z art. 219 ust. 1 pkt 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

W dokumentacji przewodu habilitacyjnego znajduje się autoreferat, który stanowi wprowadzenie w tematykę przedłożonego cyklu publikacji, przedstawienie motywacji oraz przewodnik omawiający zawartość kolejnych prac przedłożonego cyklu jak również wyszczególnienie osiągnięć dr inż. Rafała Dei – przegląd zaproponowanych rozwiązań i uzyskanych wyników. Rozwiązania proponowane przez Habilitanta mają na celu

wspomaganie podejmowania decyzji przez eksplorację i analizę danych historycznych pacjentów z cukrzycą typu 1 w sytuacji świeżego ujawnienia cukrzycy. Poruszana problematyka jest bardzo istotna i ma ważne zastosowania praktyczne. Przebieg choroby i kolejne wykonywane badania czy przyjmowane leki są rozpatrywane jako sekwencja zdarzeń w czasie. Habilitant w swoich badaniach prowadził różnorodną analizę. Analizie podlegała m.in.: możliwość przewidywania wartości dawki insuliny; możliwość rozpoznania grup pacjentów podobnych do siebie oraz modelowania przebiegu leczenia dla danej grupy pacjentów; odkrywanie wzorców sekwencji prowadzących do osiągnięcia celu terapeutycznego; tworzenie ścieżek decyzyjnych oraz reguł decyzyjnych z sekwencji danych klinicznych. Warto zaznaczyć, że takie różne podejścia stanowią kompleksową i wszechstronną analizę, podejścia te się uzupełniają. Ponadto bardzo istotna jest przejrzysta forma generowanych wyników, wzorców (w wielu rozwiązaniach graficzna), która została bardzo dobrze oceniona przez ekspertów. Istotną zaletą proponowanych rozwiązań jest również moduł uzasadniania/objaśniania wygenerowanych decyzji jak również pokazywanie konsekwencji wyboru danego sposobu leczenia.

Zagadnienie wspomaganie decyzji na podstawie wiedzy dziedzinowej jest rozważane w literaturze już od dziesięcioleci. Pierwsze rozwiązania – systemy ekspertowe – zostały zaproponowane w latach osiemdziesiątych dwudziestego wieku. Jednakże tematyka ta jest bardzo złożona, gdyż pozyskiwanie wiedzy dziedzinowej od ekspertów jest zadaniem bardzo trudnym. Wiedza dziedzinowa w większości przypadków nie jest dobrze sformalizowana, a zapisanie jej w postaci reguł decyzyjnych z dobrze określonymi przesłankami i konkluzjami nastęcza wiele problemów. Dr inż. Rafał Deja w ocenianych badaniach skupił się na wspomaganie leczenia cukrzycy typu 1, szczególnie w sytuacji świeżego ujawnienia tej dolegliwości. Cukrzyca jest jedną z groźniejszych chorób cywilizacyjnych, leczenie polega na podawaniu insuliny w celu utrzymania właściwego poziomu glukozy. Obiecującym są rozwiązania zapewniające ciągłe monitorowanie poziomu glukozy i automatyczne podawanie insuliny z wykorzystaniem pompy insulinowej. Jednak takie podejście nie jest skuteczne w przypadku świeżych zachorowań na cukrzycę, gdyż system potrzebuje danych historycznych pacjenta, aby nauczyć się odpowiedniej reakcji dla danego pacjenta. W literaturze można znaleźć wiele metod wspomaganie decyzji w przypadku osób chorych na cukrzycę, z których Habilitant część cytuje.

Jak już wspomniano wcześniej, opiniowane osiągnięcie naukowe opisano w 10 publikacjach. Poniżej je podano, a następnie opisano podstawowe osiągnięcia:

A1. Rafał Deja, Wojciech Froelich, Forecasting Basal Insulin for the Clinical Therapy of Juvenile Diabetes at Onset. *Procedia Computer Science* 207 (2022): 138-144.

A2. Rafał Deja, Wojciech Froelich, and Grazyna Deja. Rule-based Medical Treatment Graph for the Modeling of Hypo-and Hyperglycemia at Onset. *Procedia Computer Science* 192 (2021): 1393-1400.

A3. Rafał Deja, Wojciech Froelich, and Grazyna Deja. Mining clinical pathways for daily insulin therapy of diabetic children. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science* 31.1 (2021).

A4. Rafał Deja, Wojciech Froelich, Grażyna Deja, and Alicja Wakulicz-Deja. Hybrid approach to the generation of medical guidelines for insulin therapy for children. *Information Sciences* 384 (2017): 157-173.

A5. Rafał Deja, Applying Roughification to Support Establishing Intensive Insulin Therapy at Onset of T1D. In: Czarnowski, I., Howlett, R., Jain, L. (eds) *Intelligent Decision Technologies 2017. IDT 2017. Smart Innovation, Systems and Technologies*, vol 72. pp. 265-272. Springer, Cham, 2018.

A6. Rafał Deja. Building Medical Guideline for Intensive Insulin Therapy of Children with T1D at Onset. In: Nguyen, N., Iliadis, L., Manolopoulos, Y., Trawiński, B. (eds) *Computational Collective Intelligence. ICCCI 2016. Lecture Notes in Computer Science()*, vol 9876. Springer, Cham. 2016

A7. Rafał Deja, Wojciech Froelich, and Grażyna Deja. Differential sequential patterns supporting insulin therapy of new-onset type 1 diabetes. *BioMedical Engineering OnLine* 14.1 (2015): 1-11.

A8. Froelich, Wojciech, Rafał Deja, and Grażyna Deja. Mining therapeutic patterns from clinical data for juvenile diabetes. *Fundamenta Informaticae* 127.1-4 (2013): 513-528.

A9. Rafał Deja. Comparison of Rules Synthesis Methods Accuracy in the System of Type 1 Diabetes Prediction. In: Kapczyński, A., Tkacz, E., Rostanski, M. (eds) *Internet – Technical Developments and Applications 2. Advances in Intelligent and Soft Computing*, vol 118, pp 13-44. Springer, Berlin, Heidelberg. 2012

A10. Deja, Rafal. Applying Rough Set Theory to the System of Type 1 Diabetes Prediction. In: Tkacz, E., Kapczynski, A. (eds) *Internet – Technical Development and Applications. Advances in Intelligent and Soft Computing*, vol 64. pp.119-129, Springer, Berlin

Pierwsze zadanie, a tym samym osiągnięcie Habilitanta dotyczyło zaproponowania reprezentacji danych klinicznych pacjentów z cukrzycą. W tym celu zastosowano pojęcie szeregów czasowych ze zdefiniowanym zbiorem etykiet odnoszących się do przedziałów czasowych. Propozycja ta była rozwijana w pracach [A8, A4, A3, A2]. Zastosowano w niej liczne ulepszenia wynikające z wiedzy eksperckiej, motywowane doświadczeniem lekarzy. Szczególnie interesujące jest wprowadzenie dyskretyzacji wartości glikemii, które znacząco uprościło reprezentację danych. W tak przygotowanych danych odkrywane były wzorce sekwencji, których celem było osiągnięcie celu terapeutycznego. Szczegółową analizę i wyniki eksperymentalne na rzeczywistych danych medycznych przedstawiono w pracy [A8]. Habilitant stwierdził, że zadowalającą jakość predykcji osiągnięto dla terapii o długości co najmniej 6 dni i dla wartości glikemii po śniadaniu. Moim zdaniem należałoby również przeprowadzić badania jakości predykcji przy uwzględnieniu drobnego błędu. Ponieważ predykowane liczby są rzeczywiste, należałoby oczekiwać zaakceptowania wartości, które znajdują się w jakimś małym ε -otoczeniu wartości poprawnej.

Kolejnym rozszerzeniem analizowanego podejścia było zastosowanie różnicowych wzorców sekwencji. W pracy [A7] dr inż. Rafał Deja zaproponował zaznaczanie zmian w kolejnych dawkach podawanej insuliny z wykorzystaniem trzech znaków $\{+, 0, -\}$. Habilitant konkluduje, że takie podejście wpłynęło po pierwsze na poprawę interpretacji generowanych wzorców

przez lekarzy oraz na ułatwienie podejmowania decyzji w zakresie zmian w prowadzonej terapii.

W pracy [A6] Habilitant wprowadził kolejne istotne rozszerzenie proponowanego rozwiązania o uwzględnienie dodatkowych informacji na temat pacjenta. We wcześniejszych pracach z dodatkowych informacji uwzględniana była tylko waga pacjenta, natomiast w rozszerzonym podejściu brany jest również pod uwagę stan kliniczny pacjenta; występowanie stanu zapalnego (wynik CRP) czy kwasicy ketonowej (PH) oraz wciąż własne wydzielanie insuliny (C-peptyde). W ten sposób, z wykorzystaniem wiedzy dziedzinowej, zostały wprowadzone dwie grupy atrybutów: statyczne i dynamiczne. Te pierwsze wykorzystano w pracach [A6, A4, A3, A2] do wyznaczenia grup pacjentów o podobnej charakterystyce medycznej. Dla każdej z określonych grup Habilitant wyznacza model przebiegu leczenia. Grupowanie zrealizowano z wykorzystaniem algorytmu fuzzy C-means, natomiast liczbę grup ustalano eksperymentalnie lub z wykorzystaniem znanych z literatury kryteriów. Uważam, że jest to bardzo dobre rozwiązanie, które wzorowane jest na rzeczywistym podejściu lekarzy. Interesującym byłoby dalsze badania i porównanie uzyskanych wyników z wykorzystaniem innych algorytmów grupowania. Istnieje wiele innych podejść w dziedzinie miękkiego grupowania (ang. soft clustering), które mogłyby być tutaj zastosowane.

W pracach [A4, A3] Habilitant rozszerza proponowane rozwiązanie o bardzo ważną funkcjonalność polegającą na graficznej reprezentacji częstych epizodów otrzymanych na podstawie danych historycznych grup pacjentów (wygenerowanych na podstawie charakterystyk statycznych). W pracy [A4], dwie zaproponowane przez dr inż. Rafała Deję miary, służące do oceny epizodów częstych, wspomagają lekarzy w analizie wygenerowanego modelu dla danej grupy pacjentów. Ponadto użytkownik systemu ma możliwość dostosowania parametrów generowanego modelu do swoich potrzeb. W pracy [A3], Habilitant zaproponował podejście polegające na generalizacji ścieżki leczenia poprzez grupowanie ścieżek grafu. Ponadto decyzja lekarza dodatkowo wspomagana jest poprzez możliwość filtrowania ścieżek najbardziej prawdopodobnych dla danego pacjenta oraz tych, które prowadzą do niepożądanych zdarzeń. W wyniku prowadzonych prac Habilitant zdefiniował pojęcie Medical Treatment Graph jako skierowany graf acykliczny. Zaproponował przejrzysty i czytelny sposób prezentacji ścieżek klinicznych, jak i czytelne miary oceny prawdopodobieństwa występowania i skuteczności różnych terapii. Proponowane podejście zostało przetestowane na danych rzeczywistych – otrzymano bardzo obiecujące wyniki. Następnie rozwiązanie zostało wdrożone w praktyce, a eksperci/lekarze diabetolodzy ocenili narzędzie bardzo pozytywnie. Należy zwrócić uwagę na bardzo użyteczną wartość prowadzonych badań i proponowanych przez Habilitanta rozwiązań. Również ważne jest to, że wszelkie badania zrealizowane były z wykorzystaniem danych rzeczywistych. Proponowane rozwiązanie znacząco ułatwiło podejmowanie decyzji przez lekarzy dotyczące zmian w terapii i zmniejszenia dawek insuliny. Uważam to rozwiązane za bardzo istotny wkład Habilitanta.

Kolejnym naturalnym rozszerzeniem rozwiązania jest zaproponowane w pracy [A2] podejście Rule Based Medical Treatment Graph. Habilitant wykorzystał teorię zbiorów przybliżonych do generowania reguł decyzyjnych na podstawie danych historycznych zawierających ścieżki leczenia. W celu przekształcenia danych tak aby możliwe było wykorzystanie algorytmu generowania reguł decyzyjnych, Habilitant proponuje definiowanie zbioru tablic decyzyjnych T_k na podstawie ścieżek leczenia z uwzględnieniem etykiety czasu zdarzenia $k \in \{2,4,6,8,10\}$ (czasu w którym wykonywane są pomiary glikemii w ciągu jednej doby

terapeutycznej). Myślę, że proponowane rozwiązanie jest bardzo ciekawe, szczególnie, że minimalne reguły decyzyjne pozwalają wyznaczyć najkrótszą ścieżkę zdarzeń, która doprowadzi do niepożądanych skutków. Zatem interpretacja i zastosowania są bardzo istotne i pozwalają na wyznaczenie sekwencji zdarzeń, których lekarze powinni nie stosować w terapii. Dla dużych, rzeczywistych danych wykorzystanie algorytmu wyczerpującego generowania reguł minimalnych może okazać się nieefektywne. Habilitant nie przedstawił pozostałych możliwości wykorzystania algorytmów generowania reguł decyzyjnych opartych na zbiorach przybliżonych takich jak na przykład algorytm genetyczny. Dyskusja na ten temat moim zdaniem byłaby bardzo interesująca.

Ostatecznie w pracy [A1] zastosowano sieci neuronowe do predykcji odpowiedniej dawki insuliny dla pacjenta. Podejście to różni się od pozostałych gdyż nie wykorzystano tu grupowania z uwagi na atrybuty statyczne pacjentów lecz stworzono jeden zbiór danych składający się z wszystkich pacjentów. Uważam, że takie podejście jest poprawne z uwagi na to, że po pierwsze w tym zadaniu szukamy pewnych wzorców ogólnych, po drugie jak wiadomo sieci neuronowe aby dobrze się wyuczyć potrzebują dużych zbiorów danych. Dr inż. Rafał Deja otrzymał bardzo dobre wyniki dla tego podejścia. Wartościowa byłaby tutaj analiza wpływu struktury sieci na otrzymane wyniki, jak również dyskusja na temat różnych innych parametrów występujących w sieciach neuronowych czy wykorzystania różnych typów tych sieci. Dodatkowo w pracy [A5] badano metodę predykcji wartości dawki insuliny, która oparta jest na teorii zbiorów przybliżonych. Tutaj ciekawym jest to iż niejako predykowany jest przedział wartości dawki dobowej insuliny odpowiedniej dla danego pacjenta. Jest to podejście bardzo praktyczne z uwagi na trudność w predykcji na podstawie numerycznych, rzeczywistych danych.

Niejako uzupełnieniem do głównego nurtu badań jest zaproponowany przez Habilitanta regułowy system wspomagania decyzji, w którym wykorzystano ponownie teorię zbiorów przybliżonych [A10, A9] do diagnozowania osób chorych na cukrzycę. Tym razem jednak zbiór treningowy był specyficzny. Zawierał dane genetyczne dzieci chorych na cukrzycę oraz zdrowego rodzeństwa jak również dane pewnej grupy osób zdrowych i niespokrewnionych. Głównym celem było wyznaczenie klasyfikatora, który uwzględniał fakt, że osoby z tym samym układem genów zachorowały na cukrzycę. Wykorzystano w tym celu klasyczny algorytm generowania reguł decyzyjnych na podstawie reduktów oraz algorytm LEM2. Ciekawym wynikiem tych prac jest wygenerowanie układu genów stanowiących ochronę przed zachorowaniem na cukrzycę typu 1.

Oceniane osiągnięcie naukowe dotyczy w ogólności wspomagania podejmowania decyzji lekarzy dotyczących terapii osób chorych na cukrzycę. Przedstawiony zbiór publikacji stanowi spójny materiał. Prowadzone prace nie stanowią kontynuacji pracy doktorskiej Habilitacji, raczej jest to nowy rozdział w badaniach dr inż. Rafała Dei. Habilitant analizował badane zagadnienie wielowymiarowo. Wiele proponowanych metod wykorzystuje teorię zbiorów przybliżonych. Habilitant stosował również algorytmy uczenia nienadzorowanego, wyszukiwanie sekwencji częstych czy sieci neuronowe. Być może niektóre podejścia dobrze byłoby sprawdzić z uwzględnieniem różnych parametrów i wariantów algorytmów. Jednak Habilitant w swojej pracy wykazał użyteczność i duże znaczenie proponowanych rozwiązań.

W moim przekonaniu najistotniejszy wkład dr inż. Rafała Dei polega na zaproponowaniu systemów wspomagających decyzje lekarzy, a wykorzystujących Medical Treatment Graph

oraz Rule Based Medical Treatment Graph. W bardzo ciekawy sposób zaproponowano generowanie i prezentację różnych możliwych ścieżek terapii opierając się na sekwencjach częstych. Ponadto system niejako ostrzega lekarzy przed działaniami prowadzącymi do niepożądanych skutków. Również ciekawym rozwiązaniem jest zaproponowanie na podstawie wiedzy dziedzinowej grupy atrybutów statycznych i dynamicznych oraz tworzeniu grup pacjentów o podobnych charakterystykach statycznych.

Podsumowując uważam, że Habilitant uzyskał wiele interesujących wyników oraz wniósł istotny wkład w rozwój informatyki, w szczególności w rozwój systemów wspomaganie decyzji opartych na wiedzy dziedzinowej. Na podkreślenie zasługuje fakt, że proponowane nowe rozwiązania były testowane na danych rzeczywistych oraz podlegały ocenie eksperckiej. Jest to bardzo istotne, gdyż świadczy o dużej użyteczności stworzonych rozwiązań. Moja ocena dokonania habilitacyjnego dr inż. Rafała Deja jest pozytywna. Dokonanie to spełnia w moim przekonaniu całkowicie warunki stawiane w przewodzie habilitacyjnym przez obowiązujące przepisy.

Ocena dorobku naukowego i dydaktycznego

Działalność naukowa dr inż. Rafała Deja koncentrowała się na opracowaniu rozwiązań wspierających decyzje lekarzy podczas ustalania terapii osób z cukrzycą oraz cyklu trzech prac po doktoracie kontynuujących tematykę poruszoną w pracy doktorskiej związanej z zagadnieniem analizy konfliktów. Dorobek publikacyjny Habilitanta w dniu złożenia wniosku o wszczęcie postępowania habilitacyjnego obejmował łącznie 30 publikacji, z czego 22 publikacje powstały po doktoracie, w tym cykl 10 stanowiących wskazane osiągnięcie naukowe. Prace tego cyklu wydają się reprezentatywne dla wszystkich publikacji powstałych po uzyskaniu stopnia doktora przez Habilitanta.

W dniu złożenia wniosku o wszczęcie postępowania habilitacyjnego liczba cytowań wynosiła 74 wg Web of Science, 99 wg bazy Scopus i 334 wg Google Scholar; indeks Hirscha wynosił 4 wg Web of Science, 6 wg bazy Scopus i 10 wg Google Scholar.

Habilitant brał udział w komitetach organizacyjnych oraz w komitetach programowych konferencji międzynarodowych; organizował jedną z sesji specjalnych na międzynarodowej konferencji. Brał aktywny udział w dziewięciu konferencjach międzynarodowych, na których wygłosił referat.

Dr inż. Rafał Deja był wykonawcą w projekcie realizowanym w ramach konkursu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oraz kierownikiem projektu współfinansowanego przez Polish National Committee for Scientific Research.

W ramach działalności dydaktycznej Habilitant prowadził także zajęcia w sumie z sześciu przedmiotów, w tym również zajęcia w wersji online. Wygłosił wykład w ramach V Festiwalu Nauki Wyższej Szkoły Biznesu w Dąbrowie Górniczej.

Ponadto dr inż. Rafał Deja aktywnie współpracuje z otoczeniem poprzez realizację różnorodnych projektów informatycznych dla firmy międzynarodowej IBM oraz firm polskich.

W mojej opinii dorobek naukowy Habilitanta powstały po uzyskaniu stopnia doktora i jego aktywność naukowa oraz działalność dydaktyczna, popularyzatorska i na rzecz internacjonalizacji uczelni, spełniają wymagania ustawowe stawiane doktorowi habilitowanemu.

Konkluzja

W mojej ocenie osiągnięcie habilitacyjne, dorobek naukowy, dydaktyczny i organizacyjny dr inż. Rafała Dei, spełniają wymagania Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r, Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce odnośnie nadania stopnia naukowego doktora habilitacyjnego. Całość oceniam zdecydowanie pozytywnie. Uzyskane wyniki są wartościowe i oryginalne, stanowią istotny wkład w rozwój dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja, a w szczególności systemów wspomaganie decyzji opartych na wiedzy dziedzinowej. Bardzo istotne jest powiązanie prowadzonych badań z faktycznymi problemami i praktycznymi zastosowaniami, wykonywanie eksperymentów na danych rzeczywistych i ścisła współpraca z ekspertami dziedzinowymi.

Wnioskuje z pełnym przekonaniem o dopuszczenie dr inż. Rafała Dei do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego w celu nadania stopnia naukowego doktora habilitowanego nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja.

Małgorzata
Przybyła-Kasperek

Małgorzata Przybyła-Kasperek