

Recenzja osiągnięcia naukowego oraz dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego w postępowaniu habilitacyjnym dr. inż. Marcina Michalaka

Niniejsza recenzja została przygotowana w związku z postępowaniem habilitacyjnym **dr. inż. Marcina Michalaka**, na wniosek Rady Naukowej Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Śląskiej. Kandydat uzyskał w 2009 stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie naukowej informatyka na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej. Rozprawa doktorska p.t. Estymacja funkcji regresji w predykcji szeregów czasowych została zrealizowana pod opieką naukową prof. dr hab. Katarzyny Stąpor. Kandydat jest zatrudniony od 2014 roku jako adiunkt w Katedrze Sieci i Systemów Komputerowych na Wydziale Automatyki Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej, a od 2016 jak starszy specjalista w Sieci Badawczej Łukasiewicz w Instytucie Technik Innowacyjnych EMAG w Katowicach.

1. Ocena osiągnięcia naukowego

Jako osiągnięcie naukowe, kwalifikujące do uzyskania stopnia doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja, Kandydat przedstawił cykl dziesięciu powiązanych tematycznie publikacji p.t. „**Wnioskowanie boolowskie w biklasteryzacji**”. Cykl ten obejmuje pięć prac opublikowanych w czasopismach naukowych z Impact Factorem, dwa artykuły wydane w recenzowanych materiałach konferencji międzynarodowych indeksowanych w bazie Web of Science, dwa rozdziały w pracach zbiorowych oraz jedną pracę powiązaną z konferencją krajową.

W działalności badawczej Kandydat zajmował się między innymi możliwościami zastosowania wnioskowania boolowskiego do zagadnienia biklasteryzacji danych. Problematyka biklasteryzacji odnosi się do szerokiej klasy zastosowań dla problemów, w których grupowaniu podlegają zarówno wiersze, jak i kolumny danych w postaci dwuwymiarowych klastrów. Rozpatrywane jest podobieństwo zarówno między wierszami, jak i kolumnami danych, co pozwala na odkrycie wzorców i zależności między nimi. Biklasteryzacja może być stosowana w dziedzinach, takich jak analiza danych medycznych, analiza obrazów, analiza tekstu czy analiza danych ekonomicznych. Dzięki technice tej można odkryć grupy podobnych obserwacji zarówno w wierszach, jak i kolumnach, co może prowadzić do lepszego zrozumienia danych i wyodrębnienia ukrytych wzorców i zależności. Warto zauważyć, że biklasteryzacja jest zaawansowanym zagadnieniem analizy danych, wymaga odpowiedniego doboru parametrów i może być trudna do interpretacji w zależności od konkretnego przypadku. Dlatego istotne jest dobranie odpowiedniego algorytmu i interpretacja wyników przez doświadczonych analityków. Proces poszukiwania biklastrów może być realizowany za pomocą algorytmów opartych na podobieństwie czy na modelach probabilistycznych. Wykorzystywane są też podejścia zachłanne i heurystyki. Możliwe jest również wykorzystanie permutacji wierszy i kolumn jak i zastosowanie modeli opartych na algebrze liniowej.

W rozprawie habilitacyjnej przedstawiono podejście, które wykorzystuje wnioskowanie boolowskie i kodowanie danych wejściowych, co daje możliwość uzupełnienia lub zastąpienia analizy danych przetwarzaniem skojarzonej funkcji boolowskiej. Możliwe jest powiązanie implikantów z wzorcami w danych na podstawie twierdzeń matematycznych. Autor rozpatruje ten problem w kilku wymiarach, rozpoczynając badania od rozwiązania przedstawionego w pracy VII, w której zaproponowano pierwsze próby zastosowania funkcji boolowskich do rozpatrywanego zagadnienia. Pierwotne rozwiązanie umożliwiło zidentyfikowanie występujących problemów np. braku maksymalności w sensie inkluzji czy konieczności analizowania dwóch funkcji, co pozwoliło na wyznaczenie kolejnych wyzwań badawczych, które realizowano w kolejnych pracach. W pracy V przedstawiono zastosowanie wnioskowania boolowskiego do biklastrów dokładnych, w których elementy macierzy zawierające wzorzec są sobie równe, a przeszukiwanie dotyczy macierzy z wartościami dyskretnymi. Zaproponowano funkcję boolowską, która koduje dane dla celów odszukania dokładnych

i maksymalnych z perspektywy inkluzji biklastrów. W pracy zaproponowano twierdzenie słabe i mocne dla macierzy dyskretnych. Założono również możliwość przekształcenia do postaci implikantów prostych.

W kolejnym etapie badań, z uwagi na złożoność przetwarzania macierzy dyskretnych, podjęto badania związane z możliwością zastosowania funkcji boolowskiej i redukcji złożoności obliczeniowej poprzez przekształcenie macierzy dyskretnej do zbioru macierzy binarnych. Taki sposób kodowania zakłada przyjęcie wartości jeden dla wartości bazowej dyskretnej i wartości zero dla pozostałych. Dla macierzy binarnych przetwarzaniu podlega jedynie wartość reprezentująca poszukiwane dane. W przypadku wartości 0/1 zadanie sprowadza się do poszukiwania tylko jednej z tych wartości. Przekłada się to na uproszczenie funkcji boolowskiej. Odpowiada ona poszukiwaniu klastrów tylko dla jednej z wartości. W rezultacie zdefiniowano funkcję boolowską dla zadania poszukiwania i klastrów jedynek w macierzy binarnej.

W badaniach potwierdzono skuteczność metody dla poszukiwania dokładnych biklastrów dyskretnych oraz biklastrów jedynekowych. Zidentyfikowano problem pustych biklastrów i przyjęto możliwość modyfikacji funkcji boolowskiej dla ich eliminacji. Jednak wskazano na wzrost czasu obliczeń przy niewielkiej hipotetycznej korzyści. Działanie takie można zastąpić dodatkowym przetwarzaniem wstępnym. Zwrócono uwagę na problem redundancji opisu, dla którego suma przyjętych obszarów znacząco przewyższa liczbę uwzględnionych komórek. Wskazano na potrzebę dodatkowych heurystyk, dla których generowane dane będą stanowiły zasilenie i umożliwią odszukanie minimalnego zbioru biklastrów dokładnych.

W kolejnych etapach prac zaproponowano rozwiązania dla poszukiwania wzorców dla danych typu ciągłego. Temat ten był przedmiotem badań, których wyniki przedstawiono w publikacji IV. Bezpośrednie przeniesienie rozwiązań zaproponowanych dla macierzy dyskretnych sprowadzało by się do analogicznej analizy danych ciągłych. Jednak za bardziej naturalne przyjęto przetwarzanie danych z uwzględnieniem różnic w ramach danego wzorca. W pracy IV zaproponowano podejście oparte na biklastrze podobieństwa. Jako podobieństwo rozumie się maksymalną różnicę pomiędzy wartościami w obrębie biklastra. Różnica ta stanowi główny parametr metody. Zdefiniowano funkcję boolowską kodującą dane do zadania poszukiwania biklastrów podobieństwa w macierzy wartości ciągłych. Przedstawiono twierdzenie słabe oraz mocne dla biklastrów w macierzach ciągłych.

Poza rozwiązaniem dla macierzy ciągłych, w pracy IV zaproponowano poszukiwanie wzorców z rozrzutami wartości większymi niż w pozostałych obszarach macierzy, dla których Autor wprowadza pojęcie biklastrów chaosu. W takiej sytuacji wzorec spełniający warunek jest reprezentowany przez różnicę pomiędzy elementami nie mniejszą niż ustalony próg. Zadania to jest podobne do poszukiwania klastrów podobieństwa w macierzy ciągłej przy zmianie znaku mniejszości na znak większości. Również dla wariantu z biklastrami chaosu przyjęto twierdzenie słabe i silne.

Autor identyfikuje także problem występowania pustych biklastrów w sytuacjach gdy nie występuje zestaw danych, który umożliwia uzyskanie biklastra obejmującego pełen wiersz lub pełną kolumnę. Klastrów takich nie daje się rozszerzyć w sensie inkluzji, co stanowi konsekwencję przyjętych założeń. Może dochodzić również do sytuacji w których występują biklastry jednoelementowe. Nie jest to błędem metody i może dochodzić do takiej sytuacji gdy klastr jest największy w sensie inkluzji, a dodanie kolumny czy wiersza zaburza przyjmowany warunek minimalnej różnicy. Wyniki działania funkcji zależą od przyjętych wartości progowych. Uzyskane wyniki sugerują ostrożność przy doborze wartości parametrów progowych, tym bardziej w sytuacjach gdy nie ma kompletnej wiedzy o możliwych wartościach wynikowych. Dla redukcji tego problemu, również w pracy IV, przyjęto parametr powiązany z poziomem różnic występujących w macierzy, który jest skończonym zbiorem różnic. Przyjęto definicję funkcji boolowskiej, która koduje dane do poszukiwania wszystkich biklastrów bez względu na poziom podobieństwa. Podobnie przyjęto funkcje kodującą dla wszystkich możliwych biklastrów chaosu.

W kolejnym etapie badań, w pracy VI, Autor podjął badania dla sytuacji w których poszukiwane są biklastry o zadanym zakresie rozrzutu wokół ustalonej wartości. W takiej sytuacji rozpatrywane są poszukiwanie wzorców, dla których wszystkie wartości w biklastrze nie są oddalone bardziej niż zakładany próg od wyznaczonej wartości centralnej. Zdefiniowano funkcję boolowską, która koduje dane do zadania poszukiwania biklastrów rozrzutu wokół ustalonej wartości.

Następnie Autor zwraca uwagę na wysoką złożoność obliczeniową przedstawionych rozwiązań, która jest powiązana z badaniem formuł logicznych. Zakłada wprowadzenie heurystyk stosowanych do poszukiwania wzorców danych i wskazuje na możliwy do zastosowania zachłanny algorytm Johnsona poszukiwania implikantów. W pracy III proponuje zmodyfikowaną heurystykę, która do generowanych implikantów dodaje najczęściej występującą zmienną kodującą wiersz oraz najczęściej występującą zmienną kodującą kolumnę. W przypadku uzyskania implikanta powiązanego z pustym biklastrzem krok jest anulowany, a do implikanta dodawana jest potrzebna zmienna drugiego typu, odpowiednio kolumna lub wiersz.

W pracy III ponadto zaproponowano metodę pokrywania sekwencyjnego, która zapewnia pokrycie wszystkich jedynek biklastrami. Autor zwraca uwagę na problem, który może być związany z faktem, że zmieniająca się liczba jedynek w macierzy w kolejnych iteracjach zmniejsza zasięg generowanych biklastrów. Prowadzi to do sytuacji, w której poszukiwanie małych wzorców uniemożliwia uogólnienie wniosków na większy zakres danych. Wyniki wskazują na efektywność proponowanego rozwiązania w sensie pokrycia analogicznego jak w metodzie BiMax czy przetwarzania zachłannego. Kolejny przykład obliczeniowy powiązany był z danymi medycznymi i redukcją do wymiarowości 1000 x 1000. Największy znaleziony klaster obejmował 24 pacjentów i 24 geny. Wiarygodność rozwiązania podkreślają inne krzywe przeżycie dla pacjentów z klastra i spoza niego.

Kolejne badania powiązane z heurystykami zaproponowano w pracy II, której celem było generowanie biklastrów o większym zasięgu, pokrywających się, co przyjęto w pracy postać heurystyki hierarchicznej. Jej podstawą jest generowanie drzewa poszukiwań biklastrów. Daje to możliwość śledzenia poszczególnych etapów przetwarzania. Można tutaj analizować głębokość drzewa i liczbę węzłów. Taka struktura umożliwia również usuwanie biklastrów, które nie odnoszą się do nowych regionów macierzy. Istotne było również wyznaczenie kryterium stopu, które może stanowić osiągnięty limit generowanych pod węzłów, limit generowanych biklastrów lub poziom pokrycia jedynek w macierzy biklastrami.

W kolejnym etapie prac Autor rozważa możliwość rozszerzenia proponowanych metod ze struktur dwuwymiarowych do struktur n-wymiarowych. W pierwszym kroku podjęto rozszerzenie metody dla tri-klastrów w kostkach binarnych. Wyniki badań opublikowano w pracy I. Zdefiniowano w niej funkcję boolowską kodującą dane do zadania poszukiwania n-klastrów binarnych w hiperkostkach. Przedstawiono twierdzenie słabe oraz mocne dla zadania poszukiwania n-klastrów. W publikacji przedstawiono również rzeczywisty przykład obliczeniowy dla czterowymiarowych danych sprzedażowych, dla których wymiary odnoszą się do różnych sklepów, sprzedaży miesięcznej, identyfikatora miesiąca i sklepu.

Reasumując, w poszczególnych publikacjach przedstawiono kluczowe zadania i rozwiązania cząstkowe, które całościowo stanowią ciąg powiązanych tematycznie badań. W publikacji V celem było poszukiwanie biklastrów dokładnych w macierzach dyskretnych oraz macierzach binarnych, w publikacji IV poszukiwanie biklastrów w macierzach ciągłych oraz biklastrów chaosu, poszukiwania biklastrów wokół ustalonej wartości centralnej przedstawiono i w publikacji VI. Badania w publikacji I powiązane są z poszukiwaniem n-klastrów w hiper kostkach binarnych. W pozostałych pracach II i III zaproponowano heurystyki poszukiwania wzorców dla redukcji obliczeniowej problemu, w tym w pracy III modyfikację strategii Johnsona poszukiwania implikantów funkcji boolowskiej, a w pracy II zaproponowano heurystykę poszukiwania biklastrów zapewniającą generowanie bardziej ogólnych wzorców. Prace VIII, IX X mają charakter podsumowujący uzyskane wyniki i wskazują m.in. na zastosowania przy biklastryzacji danych biomedycznych.

W cyklu przedstawiono pięć publikacji w czasopismach z Impact factorem (I, II, III, IV, V), dwie publikacje powiązane są z konferencjami międzynarodowymi (VI, VII), jedna z konferencją krajową (X) włączono również dwa rozdziały w pracach zbiorowych (VIII, IX). W pięciu publikacjach Autor jest jedynym autorem. Dotyczy to dwóch artykułów w czasopismach z Impact factorem, jednego artykułu konferencyjnego oraz dwóch rozdziałów w monografiach. Prace Autora były cytowane 119 razy z wykluczeniem auto cytowań Wskaźnik Hirsha na poziomie 7. Biorąc pod uwagę cytowania publikacji przedstawionych cyklu najwięcej cytowań zyskała praca 4 i 5. Wskaźnik cytowań można uznać za wystarczający dla dorobku habilitacyjnego, szczególnie z uwagi na opublikowanie stosunkowo niedawno wiodących prac.

Habilitant wskazuje na dalsze kierunki badań np. możliwości zrównoleglenia i rozpraszania obliczeń i traktuje to jako istotny kierunek badawczy. Odnosi się również do nowej pracy będącej w fazie recenzji dotyczącej poszukiwań wzorców z uwzględnieniem różnych skali zmienności dla poszczególnych wierszy macierzy.

Analiza przedstawionych publikacji nasuwa kilka pytań. W autoreferacie jak i w publikacjach brakuje odniesienia od efektywności proponowanego rozwiązania na tle innych podejść do biklasteryzacji. W jakich sytuacjach proponowana metoda jest bardziej efektywna, a w jakich koszty obliczeniowe są zbyt duże? Tworzenie kolejnego rozwiązania na tle dostępnych algorytmów i metod powinno być lepiej uzasadnione z wskazaniem na konkurencyjność proponowanego rozwiązania. Autor w pracy pierwszej podkreśla świadomość złożoności obliczeniowej zaproponowanej metody, wskazuje na potrzebę stosowania heurystyk, jednak nie porównuje efektywności obliczeniowej rozwiązań z innymi metodami. Praca ta chronologicznie została opublikowana już po serii wcześniejszych badań, więc ta świadomość zaistniała już wcześniej, publikacja na tym etapie mogła być okazją do przedstawienie konkretnych rozwiązań.

Zatem pojawia się pytanie jak zdaniem Autora proponowane rozwiązanie można scharakteryzować na tle innych metod, przykładowo z również złożonym obliczeniowo podejściem zachłannym, stochastycznym czy opartym na algebrze liniowej. Jakie zdaniem Autora są zalety przedstawionej metody przy hipotetycznym zastosowaniu na tym samym zbiorze innych metod?

Walidacja rozwiązań na rzeczywistych zbiorach danych była prowadzona w ograniczonym zakresie bez porównania z innymi metodami. Przykładowo w pracy I zaprezentowano przykład obliczeniowy na danych rzeczywistych, który wykracza co prawda poza przykłady ilustracyjne, nadal jednak jest to zbiór danych niewielkich rozmiarów i bazuje na zbiorze 10 produktów, 15 klientów. Bardziej złożony zbiór danych medycznych również trudno uznać za adekwatny do rzeczywistych problemów przetwarzania dużych zbiorów danych. Skoro Autor wskazuje na zastosowanie biklasteringu do szeroko pojętej eksploracji danych, analizy tekstu, danych medycznych problemy te dotyczą dużych zbiorów danych. Jakie kolejne etapy prac należy zrealizować by zwiększyć użyteczność zaproponowanego rozwiązania?

W pracy II zaproponowano heurystykę do generowania biklastrów z udziałem wnioskowania boolowskiego. Dla porównań wygenerowano zbiory dokładnych biklastrów z udziałem mi. in metody BiMax. Na str. 682 wskazano, że metoda hierarchiczna generuje rozwiązania w krótszym czasie w porównaniu do metody opartej na zmodyfikowanej wersji strategii Johnsona, nie przedstawiono jednak danych numerycznych czy wykresów z odniesieniem do czasu. Podobnie w pracy III przedstawiono porównanie zmodyfikowanej heurystyki opartej na strategii Johnsona z innymi metodami poszukiwania biklastrów w danych binarnych z uwzględnieniem analizy dwóch zbiorów danych, syntetycznego o wymiarowości 100x100 i czterema wartościami dyskretnymi. Odniesiono się bardzo ogólnie do czasu realizacji obliczeń, wskazując skalę tygodni dla strategii zachłannej vs godziny dla zmodyfikowanej strategii Johnsona. Nie odniesiono się jednak do szczegółowych wyników ani środowiska obliczeniowego, warunków realizacji obliczeń, wskazano tylko na środowisko obliczeniowe i jego realizację w R.

2. Ocena dorobku naukowego Kandydata

Poza przedstawionym cyklem publikacji Autor po uzyskaniu stopnia doktora jest współautorem 75 publikacji naukowych. Realizował prace badawcze również w innych obszarach powiązanych z biklasteryzacją, indukcją reguł decyzyjnych, opracowaniem modeli diagnostycznych, analizą szeregów czasowych oraz widzeniem komputerowym. W ramach tych prac zaproponował w szczególności rozwiązania powiązane z monitorowaniem i diagnostyką urządzeń górniczych z udziałem biklasteryzacji, ocenę jakości reguł decyzyjnych z oceną wpływu miar oceny stosowanych na poszczególnych etapach procesu na ostateczną dokładność modelu, diagnostykę urządzeń w oparciu o charakterystyki poboru prądu, analiz sygnałów z czujników drgań czy obserwacje danych odstających dla silników kruszarek w procesie diagnostycznym. W zakresie analizy szeregów czasowych przedstawił nieparametryczne metody estymacji funkcji regresji i nowe funkcje jądra dla zadania estymacji. Realizował również badania powiązane z analizą obrazów wielospektralnych i analizą efektywności klasyfikatorów, a także poprawy jakości danych wejściowych dla tego problemu.

Realizowane prace były powiązane z projektami finansowanymi z różnych źródeł, w tym z dwoma projektami w ramach programu PO IG, trzema w programie PO IR, czterema ze środków NCBiR oraz grantem habilitacyjnym NCN powiązany z odbyciem stażu zagranicznego. Autor brał udział łącznie w 25 projektach badawczych powiązanych m.in. z graficzną oceną efektywności klasyfikatorów dla wieloklasowych zbiorów danych, budową system informatycznego w obszarze zwiększania bezpieczeństwa transportu kolejowego i realizował analizy danych w środowisku rozproszonym.

Aktywność badawcza Autora znacznie wykracza poza prace przedstawione w ramach osiągnięcia habilitacyjnego, potwierdza kompetencje w obszarach powiązanych z przetwarzaniem danych, a także umiejętność stosowania metod z obszaru informatyki technicznej i telekomunikacji do rozwiązywania zarówno problemów teoretycznych jak i praktycznych we współpracy z przemysłem.

3. Ocena dorobku dydaktycznego i organizacyjnego oraz popularyzującego naukę

Kolejna część recenzji dotyczy osiągnięć dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę. W ramach działalności dydaktycznej Kandydat realizował zajęcia dydaktyczne w zakresie matematyki dyskretniej, narzędzi analizy danych i inteligencji obliczeniowej. Prowadzi również zajęcia w języku angielskim z analogicznych obszarów. Tematyka zajęć jest powiązana z obszarami badawczymi i przyczynia się do przekazywania wiedzy i doświadczenia badawczego uczestnikom realizowanych kursów. Ponadto Autor uczestniczy w komitetach programowych konferencji międzynarodowych m. in. ICT Innovations, International Joint Conference on Rough Sets, International Conference on Enterprise Information Systems. Uczestniczy aktywnie w recenzowaniu prac w czasopismach międzynarodowych. We wniosku wskazano 26 recenzji dla czasopism z Impact factorem, min. Applied Soft Computing IF=8.263, Neural Computing and Applications IF=5.102, Neural Networks IF=9.657, Information Sciences IF=8.233. Udział w recenzowaniu publikacji w wymienionych czasopismach potwierdza zauważalność prac Autora i docenienie jego kompetencji na arenie międzynarodowej. W tym kontekście pozytywnie oceniam dorobek dydaktyczny, organizacyjny i popularyzacyjnych Kandydata.

4. Uwagi ogólne

Na cykl publikacja składa się 10 prac, ich wykaz nie ma porządku chronologicznego. Porządek odpowiada punktacji czasopism, która nie przekłada się na proces badawczy realizowany w ramach cyklu. Porządek chronologiczny lub tematyczny ułatwił by ich powiązanie w cykl działań. W autoreferacie należało wyraźniej wyizolować wkład wykazywany w osiągnięciu w pracach wieloautorskich. W kwestiach technicznych można było bardziej dopracować czytelność i uporządkowanie treści w autoreferacie, zabrakło na przykład taksonomii problemów powiązanych z biklasteryzacją oraz wskazania czemu takie, a nie inne problemy zostały podjęte do rozwiązania. Brakuje bardziej kompleksowego odniesienia do efektywności innych metod, analiz złożoności obliczeniowej prezentowanych rozwiązań i czasochłonności obliczeń w udokumentowanym środowisku obliczeniowym zarówno w kwestiach sprzętu jak i oprogramowania. W realizacji

przedstawionych w cyklu badań, pomimo wskazanego stażowego grantu NCN i potencjalnej współpracy nie występują autorzy z ośrodków zagranicznych.

5. Wniosek końcowy

Wkład Kandydata w informatykę techniczną i telekomunikację może być rozpatrywany w kilku wymiarach. Wprowadzone w ramach cyklu publikacji rozwiązania powiązane z zastosowaniem wnioskowania boolowskiego do problemu biklasteryzacji stanowią oryginalne osiągnięcie, które w sposób wyczerpujący rozpatruje przedstawioną koncepcję, poczynając od wprowadzenia w problematykę i pierwszych rozwiązań, poprzez identyfikację i rozwiązanie problemów cząstkowych aż po skalowanie koncepcji i przeniesienie jej na grunt problemów n-wymiarowych.

W szczególności za oryginalne osiągnięcia, które stanowią wkład w dyscyplinę naukową informatyka-techniczna i telekomunikacja i są adekwatne do wymogów stawianych rozprawom habilitacyjnym uznaje rozwiązania zorientowane na poszukiwanie biklastrów dokładnych w macierzach dyskretnych, biklastrów w macierzach binarnych, poszukiwanie biklastrów podobieństwa i chaosu w macierzach ciągłych, poszukiwania biklastrów wokół wartości centralnych oraz poszukiwanie n-klastrów w hiperkostkach binarnych. Całość rozwiązań wykracza znacznie np. poza hipotetyczną rozprawę doktorską, której przedmiotem by mógł być jeden z rozpatrywanych problemów. W przedstawionych publikacjach zaproponowano nowy kierunek badań w obszarze biklasteryzacji, zaproponowano inne spojrzenie na proces generowania rozwiązań w biklasteryzacji. Wprowadzono nową klasę rozwiązań o szerokim zakresie zastosowań i możliwościach rozwoju. Badanie otwierające zapoczątkowało kolejne wyzwania, które kolejno Autor realizuje. Zidentyfikowano kolejne komponenty rozwiązań jak i mankamenty rozwiązań, np. generowanie pustych biklastrów i proponuje rozwiązania.

Podsumowując, stwierdzam, że przedstawiony cykl publikacji stanowi oryginalny i znaczący wkład w dyscyplinę informatyka techniczna i telekomunikacja. Uzyskane wyniki stanowią osiągnięcie naukowe w rozumieniu art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.).

Biorąc pod uwagę pozytywną ocenę cyklu dziesięciu powiązanych tematycznie publikacji p.t. „**Wnioskowanie boolowskie w biklasteryzacji**”, oraz pozytywną ocenę dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego Kandydata, stwierdzam że dr inż. Marcin Michałak spełnia wymagania stawiane przez ustawę Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego. W związku z tym wnioskuję o kontynuację postępowania habilitacyjnego dr. inż. Marcina Michałaka i popieram nadanie mu stopnia naukowego doktora habilitowanego w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja.