



dr hab. inż. Piotr A. Kowalski, prof. AGH
Katedra Informatyki Stosowanej i Fizyki Komputerowej,
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej,
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie,
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
email: pkowal@agh.edu.pl



oraz
Centrum Informatycznych Metod Analizy Danych
Instytut Badań Systemowych
Polskiej Akademii Nauk

Kraków, 6.08.2026

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Jarosława Szkoły

**pt. „Uczenie federacyjne z uwzględnieniem niepewności danych:
zaawansowane metody agregacji oparte na przedziałowych zbiorach
rozmytych”**

1. Charakterystyka formalna i struktura rozprawy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Jarosława Szkoły nosi tytuł „Uczenie federacyjne z uwzględnieniem niepewności danych: zaawansowane metody agregacji oparte na przedziałowych zbiorach rozmytych”, a jej promotorem jest prof. dr hab. Barbara Pękała. Rozprawa została przygotowana w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja.

Praca liczy 138 stron i ma formę cyklu dziewięciu powiązanych tematycznie publikacji naukowych, poprzedzonych obszernym komentarzem syntetyzującym założenia, cele, przebieg i rezultaty przeprowadzonych badań. Zasadnicza część opisowa rozprawy została napisana w języku polskim, natomiast publikacje stanowiące jej podstawę są anglojęzyczne. Taka konstrukcja pracy jest czytelna i pozwala zarówno prześledzić rozwój koncepcji badawczej, jak i zapoznać się z pełną treścią artykułów dokumentujących poszczególne etapy badań.

Rozprawa składa się z ośmiu rozdziałów. Dwa pierwsze zawierają streszczenia w języku polskim i angielskim. W rozdziale trzecim przedstawiono wykaz dziewięciu publikacji stanowiących podstawę postępowania doktorskiego. Rozdział czwarty zawiera wprowadzenie do problematyki uczenia federacyjnego, modelowania niepewności oraz agregacji modeli lokalnych. W rozdziale piątym Autor omawia swój oryginalny wkład w uzyskane wyniki naukowe. Rozdział szósty porządkuje publikacje w ramach przyjętych ścieżek badawczych i syntetycznie przedstawia zawartość każdej z nich. Najobszerniejszy siódmy rozdział obejmuje pełne teksty prac tworzących cykl publikacyjny. Rozdział ósmy zawiera podsumowanie wyników oraz zarys dalszych kierunków badań. Pracę zamyka bibliografia obejmująca 18 pozycji odnoszących się do części syntetycznej; dodatkowo każda z zamieszczonych publikacji zachowuje własny wykaz literatury.

Cykl obejmuje artykuły opublikowane w latach 2022–2026, w tym trzy artykuły z czasopism oraz sześć prac konferencyjnych lub rozdziałów w recenzowanych wydawnictwach pokonferencyjnych. Tematycznie publikacje tworzą logiczną sekwencję: od opracowania federacyjnego modelu zdolnego do przetwarzania danych niekompletnych, przez mechanizmy ważenia modeli lokalnych i agregację za pomocą całek Sugeno oraz Choqueta, aż po systemy wykorzystujące miary entropii, przedziałowe parametry regresji logistycznej oraz regułowe systemy wnioskowania.

2. Cel rozprawy i teza badawcza

Głównym celem rozprawy, sformułowanym na stronie 10, jest opracowanie, implementacja i weryfikacja nowych metod uczenia federacyjnego umożliwiających przetwarzanie danych rozproszonych, niepewnych i niekompletnych, przy zachowaniu lokalności danych uczestników federacji. Szczególny nacisk położono na integrację uczenia federacyjnego z teorią przedziałowych zbiorów rozmytych oraz zaawansowanymi operatorami agregacji.

W rozprawie nie wyodrębniono formalnie tezy badawczej w postaci osobnego, jednoznacznego zdania. Na stronie 134 Autor stwierdza jednak, że uzyskane wyniki potwierdzają „postawioną tezę badawczą”. Na podstawie celu pracy, opisu wkładu naukowego oraz podsumowania można ją zrekonstruować następująco:

Zastosowanie przedziałowych zbiorów rozmytych oraz agregacji wykorzystującej całki Sugeno i Choqueta, uzupełnionej o informację o jakości i niepewności modeli lokalnych, pozwala zwiększyć odporność modeli uczenia federacyjnego na braki danych, heterogeniczność rozkładów i nieźrównoważenie klas, uzyskując wyniki lepsze od klasycznych metod agregacji, w szczególności FedAvg.

Tak rozumiana teza znajduje potwierdzenie w przedstawionych eksperymentach. Jej zasadnicza wartość polega na przeniesieniu opisu niepewności z poziomu samych danych również na poziom parametrów modeli oraz mechanizmu ich globalnej agregacji.

3. Streszczenie problematyki i przebiegu badań

Rozprawa dotyczy jednego z istotnych problemów współczesnego uczenia maszynowego: budowania modeli na podstawie danych znajdujących się w wielu niezależnych węzłach, bez konieczności centralnego gromadzenia obserwacji źródłowych. Problem ten jest szczególnie ważny w medycynie, gdzie dostęp do danych jest ograniczony względami prawnymi, etycznymi i organizacyjnymi, a poszczególne ośrodki dysponują często zbiorami niewielkimi, niekompletnymi i odmiennymi pod względem rozkładów cech oraz klas decyzyjnych.

Autor przyjmuje, że klasyczne uśrednianie parametrów modeli lokalnych nie zawsze jest wystarczające. Model wytrenowany na liczniejszym zbiorze nie musi być jednak najbardziej wiarygodnym modelem, a w standardowym algorytmie FedAvg może mieć dominujący wpływ na parametry globalne. Z tego względu w kolejnych pracach badano mechanizmy uzależniające znaczenie klienta od jakości jego modelu, między innymi od wartości ACC lub AUC, a następnie bardziej zaawansowane metody integrujące jakość predykcji z miarami niepewności.

W pierwszej ścieżce badań opracowano rozwiązania przeznaczone do pracy z niekompletnymi danymi. Brakujące lub niedokładne wartości reprezentowano za pomocą przedziałów, a do uczenia wykorzystywano zmodyfikowaną regresję logistyczną oraz miary podobieństwa uwzględniające



szerokość przedziałów. Badania wykazały, że wiedza przekazywana z węzłów posiadających pełniejsze dane może ograniczać spadek jakości modeli lokalnych dotkniętych brakiem informacji.

Druga ścieżka dotyczyła danych niezerównoważonych i niejednorodnych. Opracowano mechanizmy agregacji wykorzystujące całkę Sugeno, a następnie całkę Choqueta. W kolejnych pracach proces ten rozszerzono o entropię przedziałową i entropię dwuwymiarową, dzięki czemu udział danego klienta w modelu globalnym mógł zależeć zarówno od jego skuteczności predykcyjnej, jak i od poziomu niepewności charakteryzującego model lokalny.

Istotnym uzupełnieniem badań było opracowanie regresji logistycznej z wagami przedziałowymi. W tym podejściu nie tylko dane wejściowe, lecz także parametry modelu mogą reprezentować zakres możliwych wartości. Pozwala to zachować informację o nieprecyzyjności także podczas uczenia i aktualizacji modelu.

Trzeci obszar obejmuje zastosowania systemów regułowych. W pracy poświęconej wykrywaniu upadków osób starszych połączono uczenie federacyjne, system Takagiego–Sugeno oraz przedziałowe systemy wnioskowania rozmytego. Rozwiązanie to stanowi wartościowe rozszerzenie głównego nurtu rozprawy, ponieważ pokazuje możliwość wykorzystania proponowanej metodologii poza klasyczną diagnostyką opartą na regresji logistycznej.

4. Najważniejsze osiągnięcia rozprawy

Za najważniejsze osiągnięcia naukowe przedstawione w rozprawie uznaję:

- 4.1. **Opracowanie metod uczenia federacyjnego dla danych niekompletnych i niepewnych**, w których brak informacji jest reprezentowany za pomocą przedziałów, zamiast być wyłącznie usuwany lub zastępowany pojedynczą wartością.
- 4.2. **Zaproponowanie mechanizmów ważenia klientów na podstawie jakości modeli lokalnych**, między innymi z wykorzystaniem dokładności i pola pod krzywą ROC, co pozwala ograniczyć niekorzystny wpływ modeli wytrenowanych na danych niskiej jakości.
- 4.3. **Wprowadzenie całki Sugeno i całki Choqueta do agregacji parametrów w modelach federacyjnych**, umożliwiającym bardziej elastyczne modelowanie udziału poszczególnych klientów niż w przypadku klasycznej średniej ważonej.
- 4.4. **Integrację miar entropii z agregacją modeli**, dzięki której proces budowy modelu globalnego uwzględnia nie tylko wyniki klasyfikacji, lecz również stopień niepewności modeli lokalnych.
- 4.5. **Opracowanie regresji logistycznej z wagami przedziałowymi**, pozwalającej reprezentować zmienność znaczenia cechy w różnych zakresach jej wartości oraz zachowywać niepewność na poziomie parametrów modelu.
- 4.6. **Opracowanie hybrydowego systemu detekcji upadków**, łączącego uczenie federacyjne, przedziałowe zbiory rozmyte i system wnioskowania Takagiego–Sugeno.
- 4.7. **Przeprowadzenie eksperymentów w różnych wariantach rozkładu danych**, obejmujących dane kompletne i niekompletne, rozkłady IID i non-IID oraz zbiory o różnym poziomie nierównowagi klas.
- 4.8. **Zbudowanie spójnego programu badawczego**, w którym kolejne publikacje nie są jedynie luźno powiązanymi zastosowaniami, lecz rozwijają wspólną koncepcję agregacji wiedzy w warunkach niepewności.

Szczególnie wysoko oceniam konsekwencję, z jaką Autor rozwijał przyjętą koncepcję. Początkowe rozwiązania miały stosunkowo prosty charakter i wykorzystywały średnią arytmetyczną oraz skalarne parametry modelu. Kolejne prace rozszerzały zarówno sposób reprezentacji niepewności, jak i sam

mechanizm integracji modeli. Dzięki temu cykl dokumentuje rzeczywisty rozwój metodologii, a nie jedynie powtarzanie tego samego schematu na różnych zbiorach danych.

5. Ocena rozprawy i zagadnienia o charakterze krytycznym lub dyskusyjnym

I. Brak jednoznacznie wyodrębnionej tezy i pytań badawczych

Najważniejsza uwaga dotyczy sposobu sformułowania problemu badawczego. Rozprawa zawiera jasno przedstawiony cel, lecz nie zawiera oddzielnie wyróżnionej tezy ani zestawu pytań badawczych. Jednocześnie na stronie 134 Autor odwołuje się do „postawionej tezy badawczej”. Powoduje to, że czytelnik musi sam rekonstruować jej treść na podstawie kilku części dokumentu.

II. Potrzeba bardziej precyzyjnego wykazania indywidualnego wkładu Doktoranta

Wszystkie publikacje tworzące cykl są wieloautorskie, a tylko w pracy [P8] Doktorant jest pierwszym autorem. Sam ten fakt nie umniejsza wartości rozprawy, zwłaszcza że badania z zakresu uczenia federacyjnego i systemów rozmytych mają naturalnie charakter zespołowy. Wymaga jednak szczególnie precyzyjnego rozdzielenia wkładu poszczególnych współautorów.

Rozdział piąty szczegółowo opisuje udział Autora, ale przeważają w nim sformułowania zbiorcze, takie jak „Autor opracował”, „zaprojektował i zaimplementował” lub „współuczestniczył”. Dla pełnej przejrzystości przydatna byłaby tabela przypisująca Doktorantowi w każdej publikacji konkretne zadania: np. opracowanie koncepcji, formalizację matematyczną, implementację, przygotowanie danych, projekt eksperymentów, analizę statystyczną oraz redakcję tekstu. Pozwoliłoby to również usunąć niektóre niejasności w przyporządkowaniu publikacji do poszczególnych osiągnięć.

III. Zakres deklarowanej ochrony prywatności

Rozprawa wielokrotnie przedstawia proponowane rozwiązania jako zapewniające ochronę prywatności. Jednocześnie na stronie 12 Autor wyraźnie informuje, że eksperymenty prowadzono w izolowanym środowisku lokalnym i nie stosowano dodatkowych mechanizmów zabezpieczających komunikację, takich jak np. prywatność różnicowa, bezpieczna agregacja czy szyfrowanie homomorficzne.

Samo pozostawienie danych u klientów ogranicza potrzebę ich bezpośredniego udostępniania, nie stanowi jednak formalnej gwarancji prywatności parametrów i aktualizacji modelu. W związku z tym część sformułowań dotyczących „surowej prywatności”, „pełnej poufności” albo spełniania wymagań ochrony prywatności jest zbyt kategoryczna w stosunku do przeprowadzonych badań. Bardziej precyzyjne byłoby stwierdzenie, że rozwiązanie zachowuje lokalność danych źródłowych i tworzy podstawę do integracji z formalnymi technikami prywatności. Sam Autor trafnie wskazuje taką integrację jako jeden z kierunków dalszych prac na stronie 135.

IV. Zakres eksperymentalny i możliwość generalizacji wyników

Znaczna część eksperymentów została przeprowadzona na zbiorze Wisconsin Breast Cancer Diagnostic, obejmującym 569 przypadków. Jest to uznany zbiór wzorcowy, dobrze nadający się do porównań metod, ale nie odzwierciedla całej złożoności rzeczywistych danych wielośrodkowych.

Podziały między klientów, braki danych oraz nie zrównoważenie klas są w większości generowane eksperymentalnie.

Wyniki przekonująco pokazują zasadność koncepcji, lecz ich generalizacja na rzeczywiste sieci placówek medycznych wymagałaby badań na większych i rzeczywiście rozproszonych zbiorach, pochodzących z różnych instytucji, urzędów lub populacji. Cennym rozszerzeniem byłaby także walidacja zewnętrzna, w której model globalny oceniany jest na danych z ośrodka nieuczestniczącego w trenowaniu. Zastosowanie dotyczące detekcji upadków częściowo poszerza zakres rozprawy, jednak nie zastępuje wielośrodkowej walidacji podstawowych metod agregacji.

V. Semantyka niepewności i sposób konstruowania przedziałów

W poszczególnych publikacjach przedziały reprezentują różne zjawiska: zmienność pomiaru, brak wartości, niedokładność danych, nieprecyzyjność parametrów modelu albo niepewność stopnia przynależności. Z matematycznego punktu widzenia rozwiązania te są spójne z rachunkiem przedziałowym, jednak z perspektywy interpretacyjnej wymagałyby wyraźniejszego rozróżnienia.

W szczególności, przedział $[0, 1]$ stosowany jako reprezentacja całkowitego braku danych ma inne znaczenie niż przedział wyznaczony na podstawie średniej i odchylenia standardowego. Warto byłoby przedstawić analizę wrażliwości na sposób konstruowania przedziałów oraz porównać proponowane podejście z metodami imputacji, maskowania braków czy modelami bezpośrednio uwzględniającymi mechanizmy Missing Completely at Random, Missing at Random i Missing Not at Random. Pozwoliłoby to określić, jaka część poprawy wynika z samej reprezentacji przedziałowej, a jaka z mechanizmu federacyjnej wymiany wiedzy.

VI. Jednolitość procedury statystycznej i odtwarzalność eksperymentów

W późniejszych publikacjach, szczególnie w pracy P7 dotyczącej A Privacy-Aware Decision Support System, wyniki uzupełniono o wielokrotne losowe podziały oraz odchylenia standardowe. Jest to właściwy kierunek. Wcześniejsze prace opierają się jednak przede wszystkim na wartościach punktowych, walidacji krzyżowej i pojedynczych scenariuszach podziału danych.

Dla całego cyklu warto byłoby przyjąć jednolity protokół obejmujący wielokrotne uruchomienia, raportowanie średnich, odchyłek standardowych lub przedziałów ufności oraz testy różnic między metodami. Należałoby także konsekwentnie podawać ziarna generatorów losowych, dokładne reguły strojenia hiperparametrów oraz udostępnić wspólne repozytorium implementacji. Jedną z prac zawiera odwołanie do kodu systemu wnioskowania, lecz rozprawa jako całość nie wskazuje kompletnego repozytorium umożliwiającego odtworzenie wszystkich eksperymentów.

VII. Potrzeba systematycznych badań ablacyjnych i szerszego zestawu metod odniesienia

W kolejnych publikacjach rozszerzano zestaw metod porównawczych: od modeli lokalnych, scentralizowanych i Federated Averaging, przez całą Sugeno i Choqueta, aż po FedProx i SCAFFOLD. Porównania te nie są jednak prowadzone według jednego, wspólnego schematu we wszystkich pracach.

Szczególnie przydatne byłyby badania ablacyjne pozwalające oddzielnie ocenić wpływ reprezentacji przedziałowej, metryki jakości modelu, entropii, całki Choqueta, mechanizmu akceptacji modelu globalnego oraz sposobu wyznaczania parametru λ . Pozwoliłoby to jednoznacznie wskazać,

który element odpowiada za obserwowaną poprawę wyników i czy poszczególne składniki oddziałują synergicznie.

VIII. Skalowalność oraz przejście od symulacji do rzeczywistej federacji

Eksperymenty obejmują głównie niewielką liczbę klientów. Jest to wystarczające do wykazania idei, ale nie pokazuje zachowania metod w federacjach składających się z kilkudziesięciu lub kilkuset węzłów, charakteryzujących się częściową dostępnością, opóźnieniami, przerwami w komunikacji oraz zróżnicowaną mocą obliczeniową.

Warto byłoby szerzej przeanalizować koszt obliczeniowy operatorów Sugeno i Choqueta, liczbę rund komunikacyjnych, rozmiar przesyłanych aktualizacji oraz odporność na czasowe wyłączanie klientów. Szczególne znaczenie ma to w kontekście deklarowanej uniwersalności rozwiązania i planowanych zastosowań w IoT, systemach mobilnych oraz federacyjnych modelach fundamentalnych.

6. Uwagi o charakterze technicznym i redakcyjnym

- 6.1. **Błąd gramatyczny w spisie treści:** zapis „Dorobek naukowy będąc podstawą rozprawy doktorskiej” — str. 3.
- 6.2. **Zbędny znak cudzysłowu w tytule publikacji [P5]:** po słowie „Method” pozostawiono cudzysłow: „Aggregation Method,” — str. 8.
- 6.3. **Powtórzenie nazwy czasopisma w opisie publikacji [P9]:** nazwa „International Journal of Applied Mathematics and Computer Science” została podana dwukrotnie — str. 9.
- 6.4. **Błąd fleksyjny i brak przecinka:** zdanie „Było to jedną z głównym motywacji aby...” — str. 10–11.
- 6.5. **Błędy składniowe:** sformułowanie „jednym kluczowym składników” wymaga uzupełnienia do postaci „jednym z kluczowych składników”; podobnie wyrażenie dotyczące „wpływu braków w danych czy poziom niezbalansowania zbiorów na jakości” powinno zostać zapisane jako „wpływu braków w danych oraz poziomu niezbalansowania zbiorów na jakość modeli” — str. 12.
- 6.6. **Literówka:** zapis „można wymieć prace” powinien mieć postać „można wymienić prace” — str. 20.
- 6.7. **Niespójność klasyfikacji publikacji:** praca [P8] została zaliczona do nurtu „uczenia federacyjnego dla danych niezbalansowanych”, mimo że dotyczy przede wszystkim regresji logistycznej z wagami przedziałowymi i w przedstawionej postaci nie jest jeszcze metodą federacyjną — str. 20 oraz 28–29.
- 6.8. **Błędy językowe w opisie pracy [P1]:** „z szczególnym uwzględnieniem” powinno brzmieć „ze szczególnym uwzględnieniem”; „wykorzystując do tego celu wartości przedziałowych” należy zmienić na „wykorzystując do tego celu wartości przedziałowe”; „stochastyczny opad gradientu” powinien zostać zastąpiony terminem „stochastyczny spadek gradientu” — str. 21.
- 6.9. **Niespójność merytoryczna w charakterystyce [P1]:** na stronie 21 napisano, że w modelu zastosowano parametry przedziałowe zamiast wag skalarnych, podczas gdy w tekście publikacji [P1] parametry (β) są zdefiniowane jako liczby rzeczywiste, a przejście od przedziałów do wartości rzeczywistych następuje przez funkcję reprezentanta. Poprawny opis wcześniejszego, hybrydowego podejścia znajduje się zresztą na stronie 15 — str. 15, 21 oraz 36–37.
- 6.10. **Brak przyimka:** zdanie „Eksperymenty przeprowadzono zbiorze danych...” powinno brzmieć „Eksperymenty przeprowadzono na zbiorze danych...” — str. 24.
- 6.11. **Błąd fleksyjny:** sformułowanie „praca jest poświęcona dalszym rozwojem badań związanymi...” należy zmienić na „praca jest poświęcona dalszemu rozwojowi badań związanych...” — str. 27.

- 6.12. **Nieprawidłowe rozwinięcie skrótu IID:** zapis „dane zidentyfikowane niezależnie i identycznie rozłożone” powinien zostać zastąpiony przez „dane niezależne i identycznie rozłożone” — **str. 28.**
- 6.13. **Błąd składniowy:** „eliminuje się podprzedziałów o zbyt małej szerokości” powinno brzmieć „eliminuje się podprzedziały o zbyt małej szerokości” — **str. 29.**
- 6.14. **Niefortunne sformułowanie:** zapis „w każdej krotce model wybiera reprezentanta” jest niejasny; zależnie od intencji należałoby użyć „dla każdej krotki danych” albo „w każdej iteracji” — **str. 29.**
- 6.15. **Literówka:** „dane są niejednorodnonie” należy zmienić na „dane są niejednorodne” — **str. 29.**
- 6.16. **Zbędny przecinek:** w zdaniu „Przeprowadzone eksperymenty, potwierdziły skuteczność...” przecinek oddziela podmiot od orzeczenia i powinien zostać usunięty — **str. 30.**
- 6.17. **Nieprawidłowe angielskie oznaczenia liczebników porządkowych przy autorach:** „3th” i „4rd” powinny zostać zastąpione przez „3rd” i „4th” — **str. 42.**
- 6.18. **Nieusunięty tekst szablonowy w publikacji [P3]:** pozostawiono słowa kluczowe „First keyword · Second keyword · Another keyword”, które ewidentnie pochodzą z szablonu wydawniczego — **str. 49.**
- 6.19. **Błąd liczby:** sformułowanie „badanie nad uczeniem hiperparametrów” powinno zostać zapisane jako „badania nad uczeniem hiperparametrów” — **str. 135.**

7. Konkluzja

Rozprawa mgr. inż. Jarosława Szkoły podejmuje aktualny, ważny i dobrze umotywowany problem naukowy. Jej wartością jest konsekwentne połączenie uczenia federacyjnego z teorią przedziałowych zbiorów rozmytych oraz rozwój mechanizmów agregacji zdolnych uwzględniać nie tylko wielkość zbiorów lokalnych, lecz także jakość i niepewność modeli poszczególnych klientów. Przedstawione rozwiązania mają zarówno podstawy teoretyczne, jak i wyraźny wymiar aplikacyjny.

Cykl publikacji tworzy spójną całość, a kolejne prace dokumentują rozwój koncepcji od stosunkowo prostych mechanizmów federacyjnych po bardziej zaawansowane metody wykorzystujące całki rozmyte, entropię, parametry przedziałowe i interpretowalne systemy regułowe. Autor wykazał umiejętność formułowania problemów badawczych, projektowania algorytmów, prowadzenia badań eksperymentalnych oraz interpretowania uzyskanych wyników. Przedstawione osiągnięcia stanowią oryginalny wkład w rozwój metod uczenia federacyjnego w warunkach niepewności i heterogeniczności danych.

Sformułowane w recenzji uwagi mają przede wszystkim charakter dyskusyjny, metodologiczny lub porządkujący. Wskazują naturalne możliwości pogłębienia badań, zwłaszcza w zakresie formalnych mechanizmów ochrony prywatności, walidacji wielośrodkowej, skalowalności i jednolitej analizy statystycznej. Nie podważają one zasadniczych wyników rozprawy ani jej wartości naukowej; przeciwnie, mogą stanowić przyczynek do dalszego, ambitnego rozwoju podjętej problematyki.

W mojej ocenie rozprawa doktorska mgr. inż. Jarosława Szkoły stanowi oryginalne rozwiązanie istotnego problemu naukowego, potwierdza odpowiednią wiedzę teoretyczną Kandydata oraz jego zdolność do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. W konsekwencji oceniam ją pozytywnie i wnoszę o dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.

W związku z bardzo wysoką wartością naukową rozprawy, jej wyjątkowo aktualną i społecznie istotną tematyką, a także znaczącym dorobkiem publikacyjnym Doktoranta bezpośrednio powiązanym z prowadzonymi w dysertacji badaniami, zwracam się do Wysokiej Rady Naukowej Dyscyplin: Nauki fizyczne, Matematyka, Informatyka techniczna i telekomunikacja, Inżynieria materiałowa na Wydziale Nauk Ścisłych i Technicznych, z wnioskiem o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Jarosława Szkoły. W mojej ocenie praca ta stanowi dojrzałe, oryginalne i ważne osiągnięcie naukowe, które nie tylko wpisuje się w najnowsze kierunki badań nad uczeniem federacyjnym, modelowaniem niepewności i ochroną prywatności danych, lecz także wnosi istotny wkład w rozwój zaawansowanych metod agregacji opartych na przedziałowych zbiorach rozmytych.

