

dr hab. inż. Mikołaj Leszczuk, prof. AGH

Kraków, dn. 10 lipca 2024 r.

Instytut Telekomunikacji

Wydział Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

al. Mickiewicza 30

30-059 Kraków

[mikolaj.leszczuk@agh.edu.pl](mailto:mikolaj.leszczuk@agh.edu.pl)

## RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Bartłomieja Kotyry

„Wydajne algorytmy równoległe  
w modelowaniu hydrologicznym”

Promotor: dr hab. Przemysław Stpiczyński, prof. UMCS

Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej

Dziedzina: nauki inżynieryjno-techniczne

Dyscyplina: informatyka techniczna i telekomunikacja

### Aktualność i znaczenie rozprawy doktorskiej

Aktualność i znaczenie rozprawy doktorskiej Bartłomieja Kotyry pt. „Wydajne algorytmy równoległe w modelowaniu hydrologicznym” są istotne, gdyż dotyczą kluczowych aspektów rozwoju zaawansowanych technologii obliczeniowych w dziedzinie hydrologii i systemów informacji geograficznej (ang. *Geographic Information System, GIS*). Autor skupia się na opracowaniu wydajnych algorytmów równoległych, które znacznie przyspieszają przetwarzanie danych hydrologicznych i geograficznych, oferując nowe metody i rozwiązania do efektywnego wykorzystania współczesnych architektur wielordzeniowych i procesorów GPU. Rozprawa ta jest odpowiedzią na aktualne wyzwania w dziedzinie modelowania hydrologicznego i GIS, koncentrując się na poprawie wydajności i skalowalności obliczeń.

Rozprawa Bartłomieja Kotyry stanowi ważny wkład w rozwój i zrozumienie zaawansowanych metod obliczeniowych w hydrologii. Praca ta kładzie nacisk na istotne zagadnienia związane z obliczeniami równoległymi, które są niezbędne do przetwarzania coraz większych zbiorów danych geograficznych i hydrologicznych. Autor podejmuje trudne i znaczące kwestie związane z optymalizacją algorytmów obliczeniowych, które mają bezpośredni wpływ na efektywność i dokładność symulacji hydrologicznych. Proponowane przez niego metody i badania są odpowiedzią na kluczowe problemy w dziedzinie modelowania hydrologicznego i GIS, co ma znaczący wpływ na praktyczne zastosowania tych technologii. Rozprawa ta, przez połączenie teorii z praktycznymi rozwiązaniami, pokazuje, jak ważne jest zrozumienie i rozwiązywanie problemów związanych z wydajnością obliczeń równoległych, nie tylko dla postępu naukowego, ale także dla ich skutecznego i odpowiedzialnego wdrażania w różnych dziedzinach hydrologii i zarządzania zasobami wodnymi.



## Problem naukowy wydajnych algorytmów równoległych w modelowaniu hydrologicznym

Problem naukowy podejmowany przez Bartłomieja Kotyrę dotyczy wydajnych algorytmów równoległych w modelowaniu hydrologicznym. Autor skupia się na kluczowych wyzwaniach związanych z optymalizacją obliczeń w GIS oraz modelowaniu hydrologicznym. Proponowane metody mają na celu poprawę wydajności i skalowalności tych obliczeń. Autor analizuje różne aspekty zastosowania algorytmów równoległych, w tym tradycyjne problemy związane z przetwarzaniem dużych zbiorów danych oraz specyficzne wyzwania związane z modelowaniem hydrologicznym. W pracy badane są także nowe podejścia do przetwarzania równoległego na architekturach wielordzeniowych procesorów (ang. *Central Processing Unit*, CPU) i procesorach graficznych (ang. *Graphics Processing Unit*, GPU), mające na celu zwiększenie efektywności obliczeń i skrócenie czasu przetwarzania danych.

Rozprawa wnosi istotny wkład w dziedzinie obliczeń równoległych, koncentrując się na algorytmach obliczania akumulacji spływu powierzchniowego, wyznaczania zlewni oraz identyfikacji najdłuższych ścieżek spływu. Autor wprowadza innowacyjne podejścia do implementacji tych algorytmów, uwzględniając zarówno aspekty teoretyczne, jak i praktyczne. Praca podkreśla związek między wydajnością obliczeń a możliwościami współczesnych architektur obliczeniowych, proponując rozwiązania, które mają na celu maksymalne wykorzystanie dostępnych zasobów sprzętowych. Problem został sformułowany w sposób trafny, odzwierciedlając aktualne wyzwania i potrzeby w dziedzinie modelowania hydrologicznego i GIS.

## Sformułowanie hipotezy

Hipoteza pracy Bartłomieja Kotyry głęboko penetruje problematykę wydajności obliczeń równoległych w modelowaniu hydrologicznym i GIS. Praca ta nie tylko zgłębia aktualne problemy związane z wydajnością i skalowalnością obliczeń w kontekście przetwarzania dużych zbiorów danych, ale również proponuje nowatorskie metody mające na celu poprawę efektywności tych obliczeń. Metody te, takie jak implementacja algorytmów obliczania akumulacji spływu, wyznaczania zlewni oraz identyfikacji najdłuższych ścieżek spływu na architekturach wielordzeniowych i GPU, są zoptymalizowane pod kątem wydajności i skalowalności, co przyczynia się do znaczącego skrócenia czasu przetwarzania danych hydrologicznych.

W kontekście globalnych trendów w obliczeniach równoległych na ostatnie lata, szczególnie istotne staje się dążenie do tworzenia bardziej wydajnych i skalowalnych rozwiązań, które mogą sprostać rosnącym wymaganiom w zakresie przetwarzania danych w nauce. Wyzwania te wymagają nowych podejść, jak te zaproponowane przez Bartłomieja Kotyrę, które integrują zaawansowane techniki obliczeń równoległych z praktycznymi zastosowaniami w hydrologii i GIS.

Bartłomiej Kotyra, adresując te kwestie w swojej pracy, wpisuje się w aktualne dyskusje dotyczące obliczeń równoległych i przyczynia się do rozwoju metod poprawiających wydajność i skalowalność obliczeń w modelowaniu hydrologicznym, co jest zgodne z globalnymi dążeniami i potrzebami współczesnego świata.

## Rozwiązania problemów wydajności obliczeń równoległych

Autor rozprawy doktorskiej skupił się na poprawie wydajności obliczeń równoległych w modelowaniu hydrologicznym. W pracy doktorskiej zaproponowano i zastosowano



różnorodne metody, które skutecznie adresują te zagadnienia. Metody te obejmują nowe podejścia do implementacji algorytmów obliczania akumulacji spływu, wyznaczania zlewni oraz identyfikacji najdłuższych ścieżek spływu, zarówno na architekturach wielordzeniowych, jak i GPU. Badania potwierdziły skuteczność tych metod, co wskazuje na to, że Autor trafnie sformułował i rozwiązał postawione problemy.

Praca ta stanowi istotny wkład w dziedzinę wydajnych obliczeń równoległych, otwierając nowe perspektywy dla dalszych badań i praktycznych zastosowań w hydrologii i GIS. Szczególnie godne uwagi są opracowane metody optymalizacji algorytmów obliczeniowych, które znacząco przyczyniają się do poprawy efektywności i skrócenia czasu przetwarzania dużych zbiorów danych hydrologicznych. Dzięki tym innowacjom, możliwe jest bardziej efektywne i skalowalne modelowanie procesów hydrologicznych, co jest kluczowe dla zarządzania zasobami wodnymi i planowania środowiskowego.

### Innowacyjny wkład w rozwój wydajnych obliczeń równoległych

Praca Bartłomieja Kotyry wnosi znaczący wkład w dziedzinę wydajnych obliczeń równoległych w modelowaniu hydrologicznym poprzez rozwój i wdrożenie nowatorskich metod. Szczególnie istotne jest zastosowanie zaawansowanych technik obliczeń równoległych na wielordzeniowych procesorach CPU i GPU do przyspieszenia obliczeń związanych z akumulacją spływu, wyznaczaniem zlewni oraz identyfikacją najdłuższych ścieżek spływu. Autor przyczynia się do lepszego zrozumienia i optymalizacji procesów obliczeniowych w hydrologii, co ma kluczowe znaczenie dla ich praktycznego zastosowania w zarządzaniu zasobami wodnymi i ochronie środowiska.

Praca wyznacza nowe ścieżki w badaniach nad wydajnymi algorytmami obliczeniowymi, oferując jednocześnie praktyczne rozwiązania do poprawy efektywności i skalowalności przetwarzania dużych zbiorów danych hydrologicznych. Dzięki tym innowacjom możliwe jest bardziej efektywne modelowanie procesów hydrologicznych, co jest kluczowe dla przewidywania i zarządzania ryzykiem związanym z powodzią oraz innymi zjawiskami hydrologicznymi.

### Oryginalny dorobek Autora i jego znaczenie

Oryginalny dorobek naukowy Bartłomieja Kotyry, prezentowany w jego rozprawie doktorskiej, obejmuje kilka kluczowych osiągnięć w dziedzinie obliczeń równoległych w modelowaniu hydrologicznym. W jego dorobku szczególnie wyróżniają się następujące punkty:

1. Rozwój nowatorskich metod usprawniających wydajność obliczeń równoległych – Autor skupił się na łączeniu teoretycznych podstaw z praktycznymi zastosowaniami, proponując rozwiązania, które mogą być zastosowane w rzeczywistych systemach modelowania hydrologicznego.
2. Współautorstwo w publikacjach naukowych, prezentujących wyniki jego badań – Bartłomiej Kotyra miał istotny wkład w następujące publikacje:
  - Kotyra B., Chabudziński Ł., Stpiczyński P., "High-performance parallel implementations of flow accumulation algorithms for multicore architectures" (Computers and Geosciences, 2021, 100 punktów)
  - Kotyra B., "High-performance watershed delineation algorithm for GPU using CUDA and OpenMP" (Environmental Modelling and Software, 2023, 140 punktów)



• Kotyra B., Chabudziński Ł., "Fast parallel algorithms for finding the longest flow paths in flow direction grids" (Environmental Modelling and Software, 2023, 140 punktów)

3. Prace Bartłomieja Kotyry przyczyniają się do rozwoju narzędzi i technik, które mają praktyczne zastosowanie w zakresie obliczeń równoległych – dzięki jego badaniom możliwe jest bardziej efektywne modelowanie procesów hydrologicznych, co ma kluczowe znaczenie dla zarządzania zasobami wodnymi i ochrony środowiska.

Podsumowując, dorobek Bartłomieja Kotyry w jego rozprawie doktorskiej jest znaczący z punktu widzenia rozwoju wydajnych obliczeń równoległych w modelowaniu hydrologicznym. Ma on duże znaczenie zarówno teoretyczne, jak i praktyczne, przyczyniając się do bardziej efektywnego i skalowalnego przetwarzania dużych zbiorów danych hydrologicznych.

### Znaczenie poznawcze i praktyczne wkładu w dyscyplinę

Wkład Bartłomieja Kotyry w dyscyplinę informatyki technicznej i telekomunikacji (ale także i nauk o Ziemi i środowisku), a w szczególności w obszar obliczeń równoległych i modelowania hydrologicznego, jest znaczący zarówno z poznawczego, jak i praktycznego punktu widzenia. Autor skoncentrował się na poprawie wydajności i efektywności obliczeń równoległych w kontekście modelowania hydrologicznego, proponując nowe metody optymalizacji algorytmów obliczeniowych oraz implementacje na nowoczesnych architekturach wielordzeniowych i GPU.

Znaczenie poznawcze pracy wynika z dogłębnej analizy aktualnych wyzwań w dziedzinie obliczeń równoległych i ich zastosowań w modelowaniu hydrologicznym. Praktyczne znaczenie wiąże się z opracowaniem skutecznych narzędzi i metod, które mogą być stosowane w rzeczywistych systemach hydrologicznych i GIS. Praca ta w istotny sposób przyczynia się do rozwoju bardziej wydajnych i skalowalnych systemów modelowania hydrologicznego, oferując zarówno teoretyczne podstawy, jak i praktyczne implementacje, które mogą znaleźć zastosowanie w różnorodnych aplikacjach związanych z zarządzaniem zasobami wodnymi i ochroną środowiska.

Wyniki badań Bartłomieja Kotyry mogą być wykorzystane do dalszych badań i rozwoju w dziedzinie obliczeń równoległych, zwiększając efektywność przetwarzania dużych zbiorów danych oraz otwierając nowe możliwości w zastosowaniach hydrologicznych. Jego praca przyczynia się do lepszego zrozumienia i optymalizacji procesów obliczeniowych, co jest kluczowe dla przewidywania i zarządzania ryzykiem związanym z powodziami oraz innymi zjawiskami hydrologicznymi.

### Poziom wiedzy technicznej w rozprawie doktorskiej

Rozprawa doktorska Bartłomieja Kotyry wykracza daleko poza podstawową wiedzę techniczną, prezentując innowacyjne podejście do problematyki wydajnych obliczeń równoległych w modelowaniu hydrologicznym. Autor nie tylko szczegółowo analizuje znane wyzwania w dziedzinie obliczeń równoległych na architekturach wielordzeniowych i GPU, ale również rozwija nowatorskie metody optymalizacji algorytmów hydrologicznych, adresując kluczowe problemy związane z efektywnością i skalowalnością obliczeń.

Praca wyraźnie pokazuje głębokie zrozumienie zarówno teoretycznych, jak i praktycznych aspektów obliczeń równoległych, jednocześnie skutecznie rozwijając metody optymalizacji obliczeń hydrologicznych. To podejście stanowi znaczący wkład w rozwój systemów modelowania hydrologicznego, które są nie tylko wydajne, ale także efektywne w kontekście przetwarzania dużych zbiorów danych. Praca Bartłomieja Kotyry jest istotnym krokiem



naprzód w dziedzinie obliczeń równoległych, przyczyniając się do bardziej efektywnego i skalowalnego modelowania procesów hydrologicznych, co ma kluczowe znaczenie dla zarządzania zasobami wodnymi i ochrony środowiska.

## Ograniczenia i wyzwania w rozprawie doktorskiej

Słabe strony rozprawy Bartłomieja Kotyry obejmują ograniczenia w zakresie zastosowania proponowanych metod w różnorodnych kontekstach rzeczywistych, możliwe wyzwania związane ze skalowaniem metod do bardzo dużych zbiorów danych oraz potencjalne trudności w implementacji i zastosowaniu wypracowanych metod przez osoby niebędące ekspertami w dziedzinie obliczeń równoległych i modelowania hydrologicznego. Ponadto, praca ma pewne ograniczenia wynikające z zakresu badań, dostępnych zasobów i wybranych metodologii badawczych.

Praca, choć proponuje nowatorskie metody w zakresie optymalizacji obliczeń hydrologicznych, mogłaby skorzystać na bardziej szczegółowym przedstawieniu przypadków ich praktycznego zastosowania w realnych środowiskach hydrologicznych. Ponadto, w kontekście interdyscyplinarności, pracy brakuje głębszego omówienia współpracy między różnymi dyscyplinami naukowymi i praktycznymi, co mogłoby wzbogacić zrozumienie i aplikację proponowanych metod.

Praca mogłaby również skupić się na dalszym rozwoju metod testowania i oceny skuteczności algorytmów, szczególnie w kontekście różnorodnych danych i zastosowań. Uwzględnienie tych aspektów mogłoby zwiększyć praktyczną wartość i zastosowanie opracowanych metod w szerokim zakresie scenariuszy związanych z modelowaniem hydrologicznym i zarządzaniem zasobami wodnymi.

## Ocena rozprawy w kontekście spełniania wymagań naukowych

Rozprawa doktorska Bartłomieja Kotyry wyraźnie spełnia wymagania naukowe, zwyczajowo stawiane rozprawom doktorskim. Praca ta odzwierciedla dogłębną wiedzę i rozumienie zagadnień związanych z wydajnymi obliczeniami równoległymi i modelowaniem hydrologicznym, co jest kluczowe w obecnych czasach rosnących potrzeb przetwarzania dużych zbiorów danych. Autor skutecznie łączy teoretyczne aspekty z praktycznymi aplikacjami, demonstrując znaczące umiejętności badawcze.

Rozprawa zawiera nowatorskie metody i praktyczne obserwacje, które przyczyniają się do postępu w dziedzinie obliczeń równoległych i hydrologii, skupiając się na poprawie efektywności i skalowalności tych procesów. W pracy zastosowano innowacyjne podejścia, takie jak optymalizacja algorytmów obliczeniowych na architekturach wielordzeniowych i GPU. Te elementy wskazują na wysoki poziom innowacyjności i istotny wkład w dziedzinie informatyki technicznej i telekomunikacji, szczególnie w zakresie modelowania hydrologicznego i GIS.

Bartłomiej Kotyra w swojej rozprawie dokonał integracji zaawansowanych technik obliczeń równoległych z praktycznymi zastosowaniami w hydrologii, co demonstrowuje jego zdolność do prowadzenia badań na wysokim poziomie oraz istotnego wkładu w rozwój technologii modelowania hydrologicznego. Praca ta stanowi cenne źródło wiedzy i narzędzi dla dalszych badań oraz praktycznych zastosowań, przyczyniając się do bardziej efektywnego zarządzania zasobami wodnymi i ochrony środowiska.



## Końcowe wnioski recenzji (konkluzja)

Pomimo pewnych wad i słabych stron rozprawy, oświadczam, że:

1. **Cel rozprawy został generalnie osiągnięty.** Analiza wyników eksperymentów badawczych przeprowadzonych podczas badań do niniejszej rozprawy, które zostały opublikowane w czasopiśmie naukowych, potwierdzają słuszność postawionych w rozprawie hipotez.
2. **Osiągnięcia doktoranta zostały ujęte w rozprawie, która jest oryginalną odpowiedzią na problem naukowy z dziedziny nauk technicznych, z dyscypliny informatyki technicznej i telekomunikacji.**
3. **Tematyka rozprawy jest wyraźnie znana doktorantowi, o czym świadczy dobór materiału i jego analiza.** W bazach publikacji (a także w wykazie literatury zawartym w treści rozprawy) znajdują się artykuły ściśle związane z tematem rozprawy, których współautorem jest Autor rozprawy, wskazujący, że doktorant ma dorobek naukowy na tym polu.
4. **Rozprawa dodatkowo pokazuje zdolność doktoranta do samodzielnego prowadzenia badań.**

Ustawa z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dziennik Ustaw z 2003 r. numer 65, pozycja 595, art. 13, ust. 1) stanowi:

**Rozprawa doktorska, przygotowywana pod opieką promotora, powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego lub artystycznego oraz wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej lub artystycznej, a także umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej.**

Na podstawie punktów 1, 2, 3 i 4 podsumowania niniejszej recenzji stwierdzam, że przedstawiona przez Pana Bartłomieja Kotyrę rozprawa doktorska spełnia wymagania określone w art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami) i wnoszę o przyjęcie w/w rozprawy doktorskiej i jej dopuszczenie do publicznej obrony.

Dodatkowo, chciałbym podkreślić wyjątkowe osiągnięcia Bartłomieja Kotyry w zakresie publikacji naukowych, które znacząco przyczyniają się do podkreślenia naukowej wartości jego pracy doktorskiej. Autorstwo (lub współautorstwo jako pierwszy autor) w artykułach, opublikowanych w recenzowanych międzynarodowych czasopiśmie naukowych, w tym w 2 czasopiśmie z punktacją 140 wg wykazu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, które są doceniane przez naukową społeczność za wysoki poziom merytoryczny, podkreśla znaczenie i aktualność przeprowadzonych przez niego badań. Te i inne publikacje, wymienione w recenzji, nie tylko demonstrują głębokie zrozumienie i umiejętność adresowania aktualnych problemów naukowych przez Bartłomieja Kotyrę, ale także jego zdolność do przekraczania tradycyjnych granic dyscyplin, wprowadzając innowacje, które mają potencjał do szerokiego zastosowania w przyszłości.

Biorąc pod uwagę wyjątkowy wkład naukowy Bartłomieja Kotyry, jego aktywny udział w życiu naukowym, jak również znaczące osiągnięcia publikacyjne, z przekonaniem rekomenduję wyróżnienie jego rozprawy doktorskiej. Jestem przekonany, że takie wyróżnienie będzie nie tylko uhonorowaniem jego dotychczasowego wkładu w rozwój nauk technicznych, ale także zachętą do dalszego prowadzenia przełomowych badań w dziedzinie obliczeń równoległych i modelowania hydrologicznego.

Praca doktorska Bartłomieja Kotyry, z jego bogatym dorobkiem publikacyjnym, stanowi wzór doskonałości naukowej i praktycznej, odzwierciedlający najwyższe standardy badawcze. Tym samym, bez żadnych zastrzeżeń, rekomenduję jego rozprawę do wyróżnienia, podkreślając jego wybitny wkład w rozwój i zrozumienie wydajnych obliczeń równoległych w modelowaniu hydrologicznym.

dr hab. inż. Mikołaj Leszczuk, prof. AGH