

Dorota MOZYRSKA¹, **Andrzej CHMIELEWSKI²**

¹ ORCID: 0000-0002-0664-4574. Prof. nadzw. dr hab., Politechnika Białostocka, Wydział Informatyki, ul. Wiejska 45A; 15-351 Białystok; e-mail: d.mozyrska@pb.edu.pl
² ORCID: 0000-0002-9313-0685. Dr inż., Politechnika Białostocka, Wydział Informatyki, ul. Wiejska 45A; 15-351 Białystok; e-mail: s.jarzabek@pb.edu.pl;
data złożenia tekstu do Redakcji DI: 26.01.2022; data wstępnej oceny artykułu: 2.02.2022

NOWY MODEL NAUCZANIA NA KIERUNKU MATEMATYKA STOSOWANA ZORIENTOWANY NA KSZTAŁCENIE PRAKTYCZNYCH UMIEJĘTNOŚCI INFORMATYCZNYCH A NEW TEACHING MODEL FOR APPLIED MATHEMATICS ORIENTED TOWARDS TEACHING PRACTICAL COMPUTER SKILLS

Słowa kluczowe: program studiów, matematyka stosowana, umiejętności informatyczne, język Python, analityka danych.

Keywords: curriculum, applied mathematics, computer skills, Python language, data analytics.

Streszczenie

W pracy przedstawiono postępy w realizacji nowego programu studiów na kierunku matematyka stosowana, studia inżynierskie, pierwszego stopnia, kierunek praktyczny, prowadzonego przez Wydział Informatyki Politechniki Białostockiej od roku akademickiego 2020/2021. Program kierunku został zmodernizowany i zorientowany na praktyczne zastosowania, od początku studiów, poprzez kształcenie z użyciem języka Python. Wprowadzono do programu studiów szereg przedmiotów programistycznych oraz zastosowano innowacyjne podejście do nauczania przedmiotów matematycznych wraz z dodaniem pracowni specjalistycznych do tych przedmiotów. Nowy model nauczania ma na celu zwiększenie retencji i motywacji studentów zarówno w zakresie poznawania kolejnych narzędzi matematyki i analizy danych, jak i przyszłych sukcesów w pracy zawodowej. Praca zawiera przegląd programu nauczania na wspomnianym kierunku, a także wyniki wstępnej ankiety studentów I semestru wraz z jej analizą.

Abstract

This article presents the progress made so far in the implementation of the new curriculum in the field of applied mathematics, engineering studies, practical truck, provided by the Faculty of

Computer Science of the Bialystok University of Technology from the academic year 2020/2021. The program of the course has been modernized and oriented towards practical applications, from the beginning of studies, through teaching with the use of the Python language. A number of programming subjects were introduced into the curriculum and an innovative approach to teaching mathematics subjects was applied with the addition of specialist laboratories to these subjects. The new model of teaching is aimed at increasing the retention and motivation of students both in terms of learning more tools in mathematics and data analysis, as well as in terms of future success in their professional work. This work contains an overview of the curriculum in the aforementioned field, as well as the results of the preliminary survey of the 1st semester students along with its analysis.

Wstęp

Matematyka jest jedną z dyscyplin, które przyczyniły się do powstania i rozwoju informatyki. Jednakże przez kolejne lata, gdy informatyka szukała własnej tożsamości jako dyscyplina, częściowo zatraciła kontakt ze swoimi korzeniami. Jednocześnie matematyka poprzez stałą tendencję na kształcenie bardziej w kierunku matematyki teoretycznej, zaczęła borykać się z brakami możliwości zatrudnienia i umiejętnościami praktycznymi swoich absolwentów. W dobie nowoczesnych i bardzo szerokich zastosowań informatyki, przedstawiciele środowisk uniwersyteckich reprezentujących dyscypliny informatyka, informatyka techniczna i telekomunikacja oraz matematyka zaczynają rozumieć, że więzi między nimi muszą zostać odbudowane i wzmocnione¹. Podjęto wiele prób i wysiłków w celu zbadania alternatywnych sposobów nauczania matematyki poprzez tworzenie programów studiów i materiałów dydaktycznych, które zawierają nowe narzędzia oraz angażują studentów. Naszym pomysłem jest włączenie do programu studiów szeregu przedmiotów programistycznych oraz zmodernizowanie podejścia do uczenia przedmiotów typowo matematycznych, takich jak np. algebra liniowa, analiza matematyczna, równania różniczkowe i różnicowe czy rachunek prawdopodobieństwa, poprzez dodanie pracowni specjalistycznych do tych przedmiotów. Użycie metod dydaktycznych z informatyki ma na celu zwiększenie możliwości wizualizacji wybranych problemów oraz zbliżenie do ukazywania zastosowań praktycznych matematyki już od pierwszego semestru studiów.

W wyniku analizy bieżącego programu studiów, głosu przedsiębiorców i studentów oraz ukierunkowania kształcenia na analitykę danych zdecydowano się na język Python, który jest uczony od podstaw od semestru pierwszego.

¹ P. Arenaz, W. Fisher, C.K. Della-Piana, *Retention program for entering students in engineering mathematics and science*, Proceedings, Frontiers in Education Conference, Vol. 3, 1999, p. 13d8-2, 1999; L. Hu, P. Li, C. Qi, *A Professional Skill-Oriented Model for Computer Applied Mathematics*, International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering, 2009, p. 1–3. DOI: 10.1109/CISE.2009.5364353.

W kolejnych semestrach studenci rozwijają umiejętności programistyczne m.in. w ramach przedmiotów programowanie obiektowe, algorytmy i struktury danych, sztuczna inteligencja.

Historycznie kierunek matematyka stosowana składał się głównie z zastosowań metod geometrii i analizy matematycznej. Główne zastosowania to użycie równań różniczkowych, teorii aproksymacji, rachunku prawdopodobieństwa. Te dziedziny matematyki bezpośrednio wiązały się z rozwojem fizyki newtonowskiej i w rzeczywistości rozróżnienie między matematykami a fizykami nie zostało wyraźnie nakreślone przed połową XIX wieku. Historia ta pozostawiła po sobie pedagogiczną spuściznę, do początku XX wieku przedmioty takie jak mechanika klasyczna były często nauczane na wydziałach matematyki stosowanej na uniwersytetach, a nie na wydziałach fizyki. Wydziały techniczne, głównie politechnik, tradycyjnie korzystały z matematyki stosowanej. Jak pisze A. Palczewski w pracy *Matematyka stosowana – kilka uwag osobistych*², w polskim środowisku matematycznym funkcjonuje także termin „zastosowania matematyki”, który mimo innego semantycznego znaczenia jest synonimem pierwszego. Obie te nazwy odpowiadają jednemu terminowi angielskiemu *applied mathematics*. Termin „matematyka stosowana” jest bardzo pojemny, a obecnie na skutek wsparcia ze strony możliwości prowadzenia obliczeń komputerowych i vice versa wykorzystania metod matematycznych do rozwoju algorytmów, np. uczenia maszynowego i sztucznej inteligencji. Pod tym terminem kryją się różnorodne formy jej uprawiania, do których można zaliczyć: prowadzenie badań dobrze ugruntowanych modeli matematycznych rzeczywistości pozamatematycznej (np. równania Naviera-Stokesa), tworzenie nowych modeli matematycznych (np. model liczby zarażeń wirusa SARS-CoV-2 2019), wykorzystanie istniejącej wiedzy matematycznej do badania procesów i zjawisk świata rzeczywistego (w dużej mierze analiza danych), zastosowanie metod i modeli matematycznych do rozwoju metod informatycznych i technologicznych.

Nierzadko nadal matematyka stosowana bywa przeciwstawiana matematyce teoretycznej, czego wyrazem jest np. praca P.R. Halmosa³, gdzie za prowokacyjnym tytułem *Applied mathematics is bad mathematics* idzie równie kontrowersyjna teza, że matematyka może się rozwijać żywiąc się wyłącznie problemami, które pojawiają się w trakcie jej rozwoju i niepotrzebne jej są żadne inspiracje spoza matematyki. Jednakże matematyka teoretyczna i stosowana istnieją wspólnie od ponad 200 lat. W II połowie wieku XX matematykę zaczęto stosować w naukach inżynierskich, biologii, medycynie. Sposób udziału matematyki-

² A. Palczewski, *Matematyka stosowana – kilka uwag osobistych*, Mathematica Applicanda, Vol. 42 (Cogitationes collectae), 2014.

³ P.R. Halmos, *Applied Mathematics is Bad Mathematics* [w:] *Mathematics Tomorrow*, ed. L.A. Steen, Springer 1981, s. 9–20.

ków w procesie tworzenia modeli i stosowania matematyki w różnego rodzaju problemach i ich rozwiązywaniu może być bardzo zróżnicowany. Nierzadko dochodzi do sytuacji wzajemnego niezrozumienia środowiska technologicznego i włączonego do współpracy matematyka. Obie strony mówią innymi językami. W dość powszechnym odczuciu matematycy funkcjonują w oderwaniu od rzeczywistości lub reprezentują niski poziom umiejętności informatycznych. Może to stanowić wyjaśnienie częstych niepowodzeń we współpracy obu środowisk. Jednocześnie współczesne problemy, analiza dużych zbiorów danych czy tworzenie nowych modeli wymaga wprowadzenia do środowiska firm informatycznych osób z wykształceniem matematycznym posiadających umiejętności programistyczne. Wiadomo, że młodzież wybiera studia kierując się albo modą, albo możliwością znalezienia atrakcyjnego zatrudnienia. W takich kategoriach nie mieści się raczej matematyka teoretyczna. Natomiast matematyka stosowana może przyciągać studentów perspektywą przyszłej atrakcyjnej pracy. Jednocześnie stworzenie wystarczająco atrakcyjnego, praktycznego kierunku matematycznego studiów, pozwoli zaangażować zdolną młodzież zarówno do studiowania bardziej złożonych problemów, jak i podjęcia pracy w jednostkach badawczo-rozwojowych w Polsce, bez konieczności odpływu najlepszych kandydatów do ośrodków zagranicznych.

O możliwościach, perspektywach zatrudnienia oraz przykładach zawodów wykonywanych przez absolwentów kierunków matematyka stosowana z różnych uczelni świata, można przeczytać m.in. na stronie Society for Industrial and Applied Mathematics⁴ oraz otouczelnie.pl⁵. Wiele różnych typów firm i organizacji zatrudnia matematyków i informatyków. Można łatwo przeszukiwać strony internetowe organizacji i korporacji, które interesują kandydata do pracy, aby dowiedzieć się więcej o ich misji i celach, historii i wymaganiach dotyczących pracownika. Oto kilka przykładów organizacji zatrudniających matematyków i informatyków: instytucje akademickie i instytuty badawcze, organizacje analityczne i prognostyczne, dostawcy usług komunikacyjnych, firmy zajmujące się informacją i oprogramowaniem komputerowym, inżynierskie organizacje badawcze, firmy świadczące usługi finansowe i zarządzające inwestycjami, laboratoria rządowe, biura badawcze i agencje, firmy ubezpieczeniowe, firmy produkujące sprzęt medyczny. W odpowiedzi na podane przesłanki i analizę rynku pracy zaproponowano, przy współudziale pracodawców z Rady Przedsiębiorców Wydziału Informatyki Politechniki Białostockiej, nowy pro-

⁴ Strona internetowa [siam.org](https://www.siam.org), *Thinking of a Career in Applied Mathematics?*, <https://www.siam.org/students-education/programs-initiatives/thinking-of-a-career-in-applied-mathematics> (dostęp: 24.01.2022 r.).

⁵ Strona internetowa [otouczelnie.pl](https://www.otouczelnie.pl), Studia matematyczne, <https://www.otouczelnie.pl/arttykul/470/Studia-matematyczne> (dostęp: 24.01.2022 r.).

gram studiów na kierunku matematyka stosowana, studia pierwszego stopnia o profilu praktycznym.

Celem tej pracy jest zweryfikowanie dwuczęściowej tezy:

(a) kandydaci na ten kierunek wybrali go świadomie, z uwagi na jego atrakcyjność;

(b) pierwszy semestr studiów spełnił oczekiwania studiujących.

Ponadto w pracy przedstawiono działania związane z projektowaniem programu studiów, opisano przyjęte założenia ukierunkowane na zwiększony udział informatyki, dostarczające niezbędnych narzędzi, do pełniejszego i praktycznego wykorzystania umiejętności oraz przedstawiono wstępne badania ankietowe wśród studentów pierwszego roku.

Z pewnością pełna ewaluacja programu nastąpi po pełnym cyklu kształcenia, ale z uwagi na fakt, iż to pierwszy semestr najczęściej wydaje się studentom najtrudniejszy i najbardziej abstrakcyjny, interesujące są wyniki zadowolenia z podjęcia danej ścieżki kształcenia przez studenta już na tym etapie.

W części 2. opisano najważniejsze aspekty programu studiów wraz z kierunkowymi efektami uczenia się. Wyniki wstępnej ankietyzacji studentów pierwszego roku zawarte zostały w części 3. Artykuł kończy się podsumowaniem dotychczasowych działań oraz zapowiedzią przyszłych analiz, niezbędnych do całościowej oceny zmodernizowanego programu studiów.

Opis programu studiów oraz kierunkowych efektów uczenia się

Uwzględniając aktualne i przyszłe potrzeby rynku pracy ukierunkowanego na nowoczesne technologie, na Wydziale Informatyki Politechniki Białostockiej zmodernizowano w 2021 r. program studiów pierwszego stopnia na kierunku matematyka stosowana o profilu praktycznym. W zespole opracowującym program aktywnie uczestniczyli również studenci wyższych lat, jak również przedstawiciele interesariuszy zewnętrznych (skupionych w ramach Rady Przedsiębiorców przy WI), którzy zwrócili uwagę na kluczowe kwalifikacje i umiejętności, wpisujące się w stale rozwijający się rynek IT i zauważalne zwiększone zapotrzebowanie na analityków danych. Wyważone połączenie matematyki z informatyką, a dokładniej z umiejętnościami programistycznymi oraz znajomością narzędzi informatycznych, jest tu kluczowe.

W opisie sylwetki absolwenta w programie studiów pierwszego stopnia⁶ podano, co następuje: „Absolwent kierunku matematyka stosowana jest przygoto-

⁶ Zmodernizowany program studiów na kierunku matematyka stosowana na poziomie studiów pierwszego stopnia o profilu praktycznym od roku akademickiego 2021/2022. Biuletyn Informacji Publicznej Politechniki Białostockiej, <https://bip.pb.edu.pl/?event=informacja&id=19247>

wany do pracy w firmach i instytucjach, w których wymagane jest stosowanie narzędzi matematycznych, informatycznych i statystycznych, na stanowiskach wymagających umiejętności analitycznych, systematyczności w poszukiwaniu rozwiązań i elastyczności myślenia. Jest przygotowany do pracy w zespole oraz do samokształcenia. Absolwent posiada podstawowe wykształcenie informatyczne i finansowe, pozwalające mu na pracę w wielu zawodach związanych z informatyką i jej zastosowaniami w szeroko pojętym biznesie, w tym w instytucjach finansowych, ubezpieczeniowych i bankowych. Absolwenci znajdują zatrudnienie w firmach, które oprócz biegłości w programowaniu i obsłudze programów komputerowych wymagają od pracownika wiedzy i umiejętności z obszaru matematyki wyższej. W planie studiów przewidziano możliwość wyboru jednej z dwóch ścieżek kształcenia: analityka danych i matematyka nowoczesnych technologii. Analityka danych to grupa przedmiotów obejmująca zagadnienia związane z obróbką i eksploracją danych, bezpieczeństwem danych, analizą danych pochodzących z różnych źródeł, w szczególności danych z obszaru finansów i ekonomii. Absolwent analityki danych będzie umiał wydobyć istotne informacje z dużych zbiorów danych, wymagających obróbki matematycznej i statystycznej. Matematyka nowoczesnych technologii to grupa przedmiotów obejmująca zagadnienia z wybranych dziedzin techniki oraz ich związki z matematyką wyższą. Absolwent będzie umiał wykorzystać zdobytą wiedzę i umiejętności matematyczne do analizy, projektowania i optymalizacji obiektów technicznych, takich jak układy automatyki i robotyki, systemy grafiki komputerowej, przetwarzania obrazów i sygnałów. Absolwent kierunku matematyka stosowana będzie przygotowany do kontynuacji kształcenia i podjęcia studiów drugiego stopnia na kierunkach matematycznych i technicznych”.

Kierunek został przypisany do dwóch dyscyplin: matematyka (wiodąca) oraz informatyka techniczna i telekomunikacja. Liczbę efektów kierunkowych przypisanych do każdej z nich przedstawiają tabele 1. i 2. Wynika z niej, że informatyka stanowi ponad 38% efektów i ten udział byłby większy, gdyby nie to, że w wyniku przyjętego algorytmu, wszystkie efekty z kategorii *Kompetencje społeczne* zostały przypisane do dyscypliny wiodącej. Powyższa uwaga dotyczy również przypisania przedmiotów, a w zasadzie punktów ECTS, do dyscyplin, gdzie ta zasada została zastosowana do przedmiotów ogólnych (np. języki obce, BHP, HES etc.).

Naturalną konsekwencją znaczącego udziału w programie studiów dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja, a tym samym możliwością pokrycia tzw. efektów inżynierskich, jest również nadawanie absolwentom tytułu inżyniera. O ile w obecnych czasach nie jest to raczej niczym nowym, to warto zauważyć, że gdy uruchamiany był ten kierunek w roku 2015, nie było to takie oczywiste.

Tabela 1. Liczba efektów na kierunku matematyka stosowana wraz z przypisaniem do dyscyplin

	Liczba efektów przypisanych do dyscyplin	
	matematyka	informatyka techniczna i telekomunikacja
Wiedza	11	7
Umiejętności	13	11
Kompetencje społeczne	5	0

Tabela 2. Procentowy udział dyscyplin w wybranych aspektach programu studiów

	Dyscyplina naukowa	
	matematyka	informatyka techniczna i telekomunikacja
Efekty kierunkowe	61,7%	38,3%
Punkty ECTS	63,2%	36,8%

Warto zauważyć, że w programie studiów oprócz licznych przedmiotów typowo informatycznych takich jak podstawy programowania, programowanie obiektowe, algorytmy i struktury danych, sztuczna inteligencja, na wielu przedmiotach matematyka jest uczona zarówno z użyciem standardowych narzędzi informatycznych (m.in. Excel, R, Statistica, Matlab, Maple), ale również wprowadzone zostały pracownie specjalistyczne do, jak dotąd, mało z informatyzowanych przedmiotów takich jak analiza matematyczna, algebra, w ramach których studenci rozwiązują zadania przy użyciu języka Python, poznając jego podstawowe biblioteki matematyczne (m.in. NumPy, SciPy, Pandas). Dzięki temu są przygotowani do pracy również w firmach IT, zarówno w charakterze analityka danych, jak i typowego programisty z wykształconym analitycznym sposobem myślenia oraz uwrażliwieniem na analizę problemu i jego przypadki szczególne.

Analiza wyników ankiet

Realizacja programu studiów, zgodnie z wymaganiami MEiN, jak i wewnętrznymi przepisami Politechniki Białostockiej jest monitorowana, aby poznać m.in. odczucia studentów w zakresie jego atrakcyjności oraz jakości prowadzonego kształcenia. Jednym z elementów tej procedury jest ankietyzacja studentów, która została przeprowadzona na reprezentatywnej grupie 18 studentów.

Ze względu na fakt, że jest to pierwszy cykl kształcenia nowego programu studiów, ankietyzacji mogli zostać poddani jedynie studenci pierwszego roku. Stąd też pytania dotyczyły głównie wyników matur, świadomości w podejmo-

waniu decyzji o wyborze kierunku oraz wstępnej oceny programu studiów, w tym kluczowych zmian wprowadzonych podczas ostatniej modernizacji. Wyniki ankiety zostały przedstawione w tabeli 3., która zawiera informacje o poziomie kandydatów, z punktu widzenia wyników z matury podstawowej i rozszerzonej z matematyki. Należy podkreślić, iż przeprowadzona ankieta była anonimowa.

Tabela 3. Wybrane wyniki ankiety studenckiej – wyniki maturalne kandydatów, którzy wzięli udział w badaniu

Pytanie	min	max	średnio
Wyniki (w procentach) z matury podstawowej z matematyki na moim świadectwie maturalnym to około:	93%	100%	97%
Wyniki (w procentach) punktów z matury rozszerzonej z matematyki na moim świadectwie to około:	22%	80%	61%

Ankietowani studenci uzyskali dobre i bardzo dobre wyniki z matematyki rozszerzonej na maturze oraz wybierali dodatkowy przedmiot w postaci fizyki (68%) oraz informatyki (9%). Ponadto, można stwierdzić, że wybrali kierunek bardzo świadomie. W zdecydowanej większości był to ich kierunek pierwszego wyboru (89%), a w podjęciu decyzji kierowali się głównie programem studiów (72%), co potwierdza przyjętą we wprowadzeniu tezę (a). Wybór informatyki przez małą liczbę studentów, jako dodatkowego przedmiotu na maturze, świadczy również o tym, że kandydaci na kierunek matematyka stosowana wiedzą, iż warto łączyć kompetencje, ale profil ich szkolnego przygotowania być może im na to nie pozwolił. Jednakże są przekonani, że połączenie gruntownego wykształcenia matematycznego z informatyką pozwoli na wyróżnienie się na rynku pracy i wypełnienie stale powiększającej się luki kompetencyjnej w zakresie m.in. analityki danych. Warto zauważyć, że podczas ostatniej klasyfikacji na studia, wszyscy kandydaci na kierunek matematyka stosowana uzyskaliby również klasyfikację na kierunek informatyka.

W ankiecie zadano również pytanie: „Jakie umiejętności i zagadnienia informatyczne zawarte w programie studiów uważasz za atrakcyjne?”.

W odpowiedzi uzyskano: język Python (44%), algorytmy i struktury danych (19%), bazy i hurtownie danych (8%), sztuczna inteligencja (8%), obliczenia matematyczne z użyciem języka Python (19%).

Dodatkowo, niewątpliwie ważnym pytaniem było też: „Czy gdybyś ponownie podejmował/a decyzję o wyborze kierunku studiów ponownie wybrałbyś/wybrałabyś matematykę stosowaną?”.

Uzyskano 61% odpowiedzi „Tak”, 33% „Nie wiem” oraz 6% „Nie”, co wskazuje na wstępne zadowolenie z podjętych studiów.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono założenia przyjęte podczas projektowania opisanego programu studiów na kierunku matematyka stosowana oraz wstępne wyniki ankietowe studentów. Kompleksową ocenę będzie można przeprowadzić po ukończeniu co najmniej jednego pełnego cyklu kształcenia. Wówczas planowana jest analiza zatrudnialności absolwentów oraz zebranie opinii pracodawców. Wstępne wyniki ankiet wskazują, że przyjęto słuszne założenia, wpisujące się w wymagania obecnego rynku pracy. Potwierdziły też nasze przypuszczenia, że kandydaci są coraz bardziej zorientowani w ofercie studiów i świadomie podejmują swoje decyzje. Warto więc analizować trendy na rynku pracy oraz modernizować programy studiów, wzbogacając je o treści i umiejętności odzwierciedlające aktualne i przyszłe potrzeby rynku pracy.

Podobne założenia zostały również wprowadzone na drugim stopniu tego kierunku, stanowiąc realną alternatywę dla kierunku informatyka, szczególnie dla absolwentów pokrewnych kierunków przypisanych do dziedziny nauk technicznych, dla których ukończenie tego kierunku może pomóc zdobyć dodatkowe umiejętności poszukiwane na rynku pracy, ale też może stanowić solidną podstawę do prowadzenia w przyszłości badań naukowych.

Bibliografia

- Arenaz P., Fisher W., Della-Piana C.K., *Retention program for entering students in engineering mathematics and science*, Proceedings, Frontiers in Education Conference, 1999, Vol. 3.
- Halmos P.R., *Applied Mathematics is Bad Mathematics* [w:] *Mathematics Tomorrow*, ed. L.A. Steen, Springer, 1981.
- Hu L., Li P., Qi C., *A Professional Skill-Oriented Model for Computer Applied Mathematics*, International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering, 2009. DOI: 10.1109/CISE.2009.5364353.
- Palczewski A., *Matematyka stosowana – kilka uwag osobistych*, „Mathematica Applicanda” 2014, Vol. 42 (Cogitationes collectae).

Netografia

- Strona internetowa otouczelnie.pl, Studia matematyczne, <https://www.otouczelnie.pl/arttykul/470/Studia-matematyczne>
- Strona internetowa siam.org, *Thinking of a Career in Applied Mathematics?*, <https://www.siam.org/students-education/programs-initiatives/thinking-of-a-career-in-applied-mathematics>
- Zmodernizowany program studiów na kierunku matematyka stosowana na poziomie studiów pierwszego stopnia o profilu praktycznym od roku akademickiego 2021/2022. Biuletyn Informacji Publicznej Politechniki Białostockiej, <https://bip.pb.edu.pl/?event=informacja&id=19247>