

1	Nazwa przedmiotu/modułu w języku polskim oraz angielskim Analiza dużych zbiorów danych Analysis of large data sets	
2	Dyscyplina matematyka	
3	Język wykładowy polski	
4	Jednostka prowadząca przedmiot Instytut Matematyczny	
5	Kod przedmiotu 28-MT-S-tAnDuZbDan	
6	Rodzaj przedmiotu Podstawowy przedmiot kierunkowy do wyboru (Core elective course)	
7	Kierunek studiów Data Science	
8	Poziom studiów II stopień	
9	Rok studiów (jeśli obowiązuje) -	
10	Semestr letni	
11	Forma zajęć i liczba godzin wykład – 30 godzin, laboratorium – 30 godzin	
12	Wymagania wstępne w zakresie wiedzy, umiejętności i kompetencji społecznych dla przedmiotu Modele liniowe Statystyka	
13	Cele kształcenia dla przedmiotu Celem przedmiotu jest poznanie przez studentów podstawowych metod analizy dużych zbiorów danych oraz nabycie umiejętności praktycznej analizy takich danych i prezentacji otrzymanych wyników.	
14	Treści programowe 1. Analiza składowych głównych. 2. Dopasowanie modelu liniowego gdy liczba obserwacji jest mniejsza niż liczba zmiennych. 3. Liniowe Metody Klasyfikacji. 4. Rozwinięcia ortogonalne. 5. Jądrowe metody wygładzające. 6. Sieci neuronowe.	
15	Zakładane efekty uczenia się	
	Wiedza: Rozumie analizę składowych głównych. Zna metody regularyzacyjne dla wielowymiarowych modeli liniowych. Zna podstawowe techniki klasyfikacji i wygładzania.	K_W01, K_W02, K_W06, K_W08 K_W01, K_W02, K_W06, K_W08 K_W01, K_W02, K_W06, K_W08
	Umiejętności: Potrafi wybrać odpowiednią metodę statystyczną analizy danych wielowymiarowych. Potrafi przeprowadzić analizę i zinterpretować wyniki. Potrafi przełożyć wyniki statystyczne na wnioski naukowe. Potrafi przygotować profesjonalny raport z analizy danych dla niespecjalistów.	K_U02, K_U03, K_U08 K_U01, K_U02, K_U03, K_U05, K_U06, K_U07, K_U08 K_U02, K_U08, K_U10 K_U02, K_U08, K_U10, K_U11
	Kompetencje społeczne:	

	Rozumie rolę i znaczenie matematyki w analizie różnego typu danych.	K_K02
16	Literatura obowiązkowa i zalecana 1. Hastie, Tibshirani, Freedman, Elements of Statistical Learning, Springer 2009	
17	Metody weryfikacji zakładanych efektów uczenia się Laboratorium: Przygotowanie indywidualnych raportów oraz sprawdzian pisemny stanowiące bieżącą weryfikację opanowania zrealizowanych treści kształcenia i osiągnięcia poszczególnych efektów kształcenia. Wykład: Egzamin pisemny stanowiący końcową weryfikację efektów kształcenia.	
18	Warunki i forma zaliczenia poszczególnych komponentów przedmiotu/modułu Warunkiem zaliczenia przedmiotu jest: – przygotowanie wszystkich wyznaczonych raportów, – uzyskanie minimum punktowego za zadania stanowiące bieżącą weryfikację efektów kształcenia (przygotowanie raportów, aktywność na zajęciach, sprawdzian pisemny) – uzyskanie pozytywnej oceny z egzaminu stanowiącego końcową weryfikację efektów kształcenia Szczegółowe warunki zaliczenia przedmiotu określa prowadzący zajęcia w ciągu dwóch tygodni od rozpoczęcia zajęć.	
19	Nakład pracy studenta	
	forma realizacji zajęć przez studenta	liczba godzin przeznaczona na zrealizowanie danego rodzaju zajęć
	zajęcia (wg planu studiów) z prowadzącym: wykład laboratorium udział w egzaminie	30 godz. 30 godz. 3 godz.
	praca własna studenta (w tym udział w pracach grupowych) analiza i weryfikacja notatek z zajęć czytanie literatury, wyszukiwanie informacji przygotowanie raportu z zajęć przygotowanie do sprawdzianu przygotowanie do egzaminu	15 godz. 5 godz. 30 godz. 20 godz. 25 godz.
	łącznie liczba godzin	158
	Liczba punktów ECTS	6

1	Nazwa przedmiotu/modułu w języku polskim oraz angielskim Bazy danych Database systems	
2	Dyscyplina matematyka	
3	Język wykładowy polski	
4	Jednostka prowadząca przedmiot Instytut Matematyczny	
5	Kod przedmiotu 28-MT-S-LBazDan	
6	Rodzaj przedmiotu Przedmiot kierunkowy do wyboru (Elective course)	
7	Kierunek studiów Data Science	
8	Poziom studiów II stopień	
9	Rok studiów (jeśli obowiązuje) -	
10	Semestr zimowy	
11	Forma zajęć i liczba godzin wykład – 30 godzin, ćwiczenia – 15 godzin, laboratorium – 15 godzin	
12	Wymagania wstępne w zakresie wiedzy, umiejętności i kompetencji społecznych dla przedmiotu Wstęp do matematyki	
13	Cele kształcenia dla przedmiotu Celem przedmiotu jest poznanie przez studenta działania relacyjnych baz danych (technologia klient-serwer), w szczególności metod komunikacji przy pomocy zapytań SQL oraz nabycie umiejętności pracy w środowisku konkretnej relacyjnej bazy danych (jak np. PostgreSQL czy MySQL) i samodzielnego projektowania bazy danych (w tym tłumaczenia średnio skomplikowanych struktur danych na struktury bazodanowe).	
14	Treści programowe 1. Bazy danych - co, jak i dlaczego. 2. Podstawy SQL (Structured Query Language). 3. Logika trójwartościowa. 4. Złączenia tabel. 5. Algebra relacji. 6. SQLowe domknięcie. 7. Algebra relacji w innych środowiskach (arkusz kalkulacyjny, system R, Base). 8. Agregacja i tabele przestawne. 9. Widoki. 10. Klucze główne oraz inne proste więzy integralności. 11. Klucze obce i akcje na nich. 12. Proceduralny SQL. 13. Przykładowy projekt bazodanowy, wykorzystujący poznane konstrukcje bazodanowe. 14. Wyzwalacze. 15. Zależności funkcyjne i spełnianie. 16. Wprowadzenie do pojęcia wnioskowania dla zależności funkcyjnych. 17. Domknięcie funkcyjne i algorytm jego wyznaczania. 18. Postać normalna BCNF. 19. Zachowywanie informacji. Normalizacja do BCNF. 20. Zachowywanie zależności funkcyjnych. 21. Ogólniejsze bazy danych: metryczne bazy danych oraz obiektowe bazy danych.	
15	Zakładane efekty uczenia się	
	Wiedza: Rozumie działanie relacyjnej bazy danych.	K_W08

	Zna i rozumie powiązania teoretycznych zagadnień bazodanowych z ich praktyczną implementacją.	K_W08
	Umiejętności: Potrafi pracować w środowisku konkretnej bazy danych, w szczególności komunikować się z bazą przy pomocy zapytań SQL. Potrafi zaprojektować średnio skomplikowaną bazę danych, w szczególności tłumaczyć struktury danych na struktury bazodanowe. Potrafi zintegrować relacyjną bazę danych z zewnętrznym interfejsem graficznym.	K_U06 K_U06 K_U06
	Kompetencje społeczne: Rozumie rolę relacyjnych baz danych w agregowaniu i przetwarzaniu informacji.	K_K02
16	Literatura obowiązkowa i zalecana 1. A. Silberschatz, H. F. Korth, S. Sudarshan, Database System Concepts, McGraw 2006-2011 dokumentacja PostgreSQL Materiały dydaktyczne: Materiały dostępne kursie e-learningowym do przedmiotu, dostępnym na platformie Moodle oraz na stronie prowadzącego.	
17	Metody weryfikacji zakładanych efektów uczenia się Ćwiczenia: Dwa sprawdziany pisemne oraz aktywność na zajęciach stanowiące bieżącą weryfikację opanowania zrealizowanych treści kształcenia i osiągnięcia poszczególnych efektów kształcenia. Laboratorium: Trzy sprawdziany pisemne, przygotowanie projektu grupowego oraz aktywność na zajęciach stanowiące bieżącą weryfikację opanowania zrealizowanych treści kształcenia i osiągnięcia poszczególnych efektów kształcenia. Wykład: Egzamin pisemny stanowiący końcową weryfikację efektów kształcenia.	
18	Warunki i forma zaliczenia poszczególnych komponentów przedmiotu/modułu Warunkiem zaliczenia przedmiotu na ocenę dostateczną jest uzyskanie minimum punktowego za zadania stanowiące bieżącą weryfikację efektów kształcenia (sprawdziany pisemne, projekt grupowy, aktywność na zajęciach) oraz pozytywnej oceny z egzaminu stanowiącego końcową weryfikację efektów kształcenia. Szczegółowe warunki zaliczenia przedmiotu określa prowadzący zajęcia w ciągu dwóch tygodni od rozpoczęcia zajęć.	
19	Nakład pracy studenta	
	forma realizacji zajęć przez studenta	liczba godzin przeznaczona na zrealizowanie danego rodzaju zajęć
	zajęcia (wg planu studiów) z prowadzącym: wykład ćwiczenia laboratorium udział w egzaminie	30 godz. 15 godz. 15 godz. 3 godz.
	praca własna studenta (w tym udział w pracach grupowych) analiza i weryfikacja notatek z zajęć rozwiązywanie zadań z list czytanie literatury, wyszukiwanie informacji opracowanie projektu przygotowanie do sprawdzianu	10 godz. 20 godz. 10 godz. 20 godz. 20 godz.

	przygotowanie do egzaminu	15 godz.
	łączna liczba godzin	158
	Liczba punktów ECTS	6

1	Nazwa przedmiotu/modułu w języku polskim oraz angielskim Graph theory Graph theory	
2	Dyscyplina matematyka	
3	Język wykładowy angielski	
4	Jednostka prowadząca przedmiot Instytut Matematyczny	
5	Kod przedmiotu 28-MT-S-TTGrafa	
6	Rodzaj przedmiotu Przedmiot kierunkowy do wyboru (Elective course)	
7	Kierunek studiów Data Science	
8	Poziom studiów II stopień	
9	Rok studiów (jeśli obowiązuje) -	
10	Semestr winter	
11	Forma zajęć i liczba godzin wykład – 30 godzin, ćwiczenia – 30 godzin	
12	Wymagania wstępne w zakresie wiedzy, umiejętności i kompetencji społecznych dla przedmiotu Algebra 1 (Algebra 1) Algebra liniowa 2 (Linear algebra 2) Analiza matematyczna 1 (Advanced calculus 1)	
13	Cele kształcenia dla przedmiotu The course objective is to familiarize students with main concepts, methods and theorems of the graph theory.	
14	Treści programowe 1. Basic concepts: graphs, paths and cycles, complete and bipartite graphs. 2. Matchings: Hall's Marriage theorem and its variations. 3. Forbidden subgraphs: complete bipartite and r-partite subgraphs, chromatic numbers, Turán's theorem, asymptotic behaviour of edge density, Erdős–Stone theorem. 4. Hamiltonian cycles (Dirac's Theorem), Eulerian circuits. 5. Connectivity: connected and k-connected graphs, Menger's theorem. 6. Ramsey theory: edge colourings of graphs, Ramsey's theorem and its variations, asymptotic bounds on Ramsey numbers. 7. Planar graphs and colourings: statements of Kuratowski's and Four Colour theorems, proof of Five Colour theorem, graphs on other surfaces and Euler characteristic, chromatic polynomial, edge colourings and Vizing's theorem. 8. Random graphs: further asymptotic bounds on Ramsey numbers, Zarankiewicz numbers and their bounds, graphs of large girth and high chromatic number, complete subgraphs in random graphs. 9. Algebraic methods: adjacency matrix and its eigenvalues, strongly regular graphs, Moore graphs and their existence.	
15	Zakładane efekty uczenia się	
	Wiedza: The student knows and understands basic concepts, methods and theorems in the graph theory.	K_W08
	Umiejętności: The student verifies the fundamental properties of graphs and their elements.	K_U08

	The student uses the language of the graph theory in mathematical reasonings. The student proves basic facts in the graph theory.	K_U08, K_U09 K_U08, K_U09
	Kompetencje społeczne: The student is aware of the role and importance of mathematics in solving problems of cognitive character.	K_K02
16	Literatura obowiązkowa i zalecana [1] Béla Bollobás, Modern Graph Theory, Graduate Texts in Mathematics, vol. 184, Springer, 1998. [2] Reinhard Diestel, Graph Theory (2nd ed.), Springer, 2000. [3] Robin J. Wilson, Introduction to Graph Theory (4th ed.), Longman, 1996.	
17	Metody weryfikacji zakładanych efektów uczenia się Recitation classes: Two midterm exams and observing students activity during classes. Lecture: Written exam.	
18	Warunki i forma zaliczenia poszczególnych komponentów przedmiotu/modułu In order to pass the course it is required to obtain a minimal specified number of points for the midterm exams (cumulative) and a positive grade from the final exam. The detailed grading rules will be presented by the instructor before the end of the second week of the semester.	
19	Nakład pracy studenta	
	forma realizacji zajęć przez studenta	liczba godzin przeznaczona na zrealizowanie danego rodzaju zajęć
	zajęcia (wg planu studiów) z prowadzącym: wykład ćwiczenia udział w egzaminie	30 godz. 30 godz. 3 godz.
	praca własna studenta (w tym udział w pracach grupowych) analiza i weryfikacja notatek z zajęć rozwiązywanie zadań z list czytanie literatury, wyszukiwanie informacji przygotowanie do sprawdzianu przygotowanie do egzaminu	10 godz. 20 godz. 10 godz. 20 godz. 30 godz.
	łączna liczba godzin	153
	Liczba punktów ECTS	6

1	Nazwa przedmiotu/modułu w języku polskim oraz angielskim LaTeX LaTeX	
2	Dyscyplina matematyka	
3	Język wykładowy polski	
4	Jednostka prowadząca przedmiot Instytut Matematyczny	
5	Kod przedmiotu 28-MT-S-LLatex	
6	Rodzaj przedmiotu Przedmiot kierunkowy do wyboru (Elective course)	
7	Kierunek studiów Data Science	
8	Poziom studiów II stopień	
9	Rok studiów (jeśli obowiązuje) -	
10	Semestr zimowy lub letni	
11	Forma zajęć i liczba godzin laboratorium – 30 godzin	
12	Wymagania wstępne w zakresie wiedzy, umiejętności i kompetencji społecznych dla przedmiotu -	
13	Cele kształcenia dla przedmiotu Celem przedmiotu jest nabycie przez studentów umiejętności składu tekstów przy użyciu systemu LaTeX, ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień związanych ze składem tekstów matematycznych.	
14	Treści programowe 1. Struktura i polecenia LaTeX-a. Charakterystyka kompilatorów LaTeX i PdfLaTeX. Znaki specjalne i polecenia LaTeX-a. 2. Struktura pliku źródłowego. Preambuła. Pakiety. Otoczenia. Tryby przetwarzania: akapitowy, matematyczny i wierszowy. 3. Formatowanie czcionki i tekstu: zmiana wielkości czcionki, pogrubienie kursywa, zmiana koloru czcionki i tła, wyrównanie lewostronne, prawostronne, wyśrodkowanie, wyjustowanie, listy proste i złożone numerowane i wypunktowane. 4. Tabele i środowisko table 5. Grafika, komenda includegraphics oraz środowisko figure. 6. Tworzenie spisu treści, bibliografii i odwołań. 7. Pakiety AMSLaTeX. Symbole matematyczne. Formuły jednowierszowe i wielowierszowe. Środowiska matematyczne (equation, align, split, gather, cases, array).	
15	Zakładane efekty uczenia się	
	Wiedza: Zna strukturę dokumentu tworzonego w systemie LaTeX oraz podstawowe komendy tego systemu.	K_W08
	Umiejętności: Potrafi przygotować dokument zawierający prosty tekst matematyczny, w szczególności posługuje się różnymi środowiskami matematycznymi. Potrafi w podstawowym zakresie posługiwać się poleceniami do formatowania dokumentu. Potrafi załączyć do dokumentu tabelę oraz pliki graficzne.	K_U08 K_U08 K_U08

	Potrafi tworzyć i wykorzystywać bibliografię.	K_U08
	Kompetencje społeczne:	
16	Literatura obowiązkowa i zalecana [1] L. Lamport, LaTeX. System opracowywania dokumentów, WNT Warszawa 2004 [2] A. Riller, LaTeX. Wiersz po wierszu', Helion, Warszawa 2001 [3] T. Oetiker, The Not So Short Introduction To LaTeX2e, tłumaczenie polskie: Nie za krótkie wprowadzenie do systemu LATEX2e, Styczeń 2007	
17	Metody weryfikacji zakładanych efektów uczenia się Zadania domowe oraz obserwacja studentów w trakcie zajęć.	
18	Warunki i forma zaliczenia poszczególnych komponentów przedmiotu/modułu Warunkiem zaliczenia przedmiotu jest uzyskanie minimum punktowego za zadania rozwiązywane w trakcie laboratorium. Szczegółowe warunki zaliczenia przedmiotu określa prowadzący zajęcia w ciągu dwóch tygodni od rozpoczęcia zajęć.	
19	Nakład pracy studenta	
	forma realizacji zajęć przez studenta	liczba godzin przeznaczona na zrealizowanie danego rodzaju zajęć
	zajęcia (wg planu studiów) z prowadzącym: laboratorium	30 godz.
	praca własna studenta (w tym udział w pracach grupowych) rozwiązywanie zadań z list czytanie literatury, wyszukiwanie informacji wykonanie zadania domowego	5 godz. 5 godz. 10 godz.
	łączna liczba godzin	50
	Liczba punktów ECTS	2

1	Nazwa przedmiotu/modułu w języku polskim oraz angielskim Logika R Logic R	
2	Dyscyplina matematyka	
3	Język wykładowy polski	
4	Jednostka prowadząca przedmiot Instytut Matematyczny	
5	Kod przedmiotu 28-MT-S-TLogika-R	
6	Rodzaj przedmiotu Przedmiot kierunkowy do wyboru (Elective course)	
7	Kierunek studiów Data Science	
8	Poziom studiów II stopień	
9	Rok studiów (jeśli obowiązuje) -	
10	Semestr zimowy	
11	Forma zajęć i liczba godzin wykład – 30 godzin, ćwiczenia – 30 godzin	
12	Wymagania wstępne w zakresie wiedzy, umiejętności i kompetencji społecznych dla przedmiotu Wstęp do matematyki Algebra 1 (zalecane) Topologia (zalecane)	
13	Cele kształcenia dla przedmiotu Celem przedmiotu jest poznanie przez studentów logicznych podstaw matematyki oraz opanowanie podstawowych pojęć i zagadnień logiki matematycznej.	
14	Treści programowe 1. Klasyczny rachunek logiczny: ujęcie aksjomatyczne, zupełność systemu aksjomatów, twierdzenie Goedla o istnieniu modelu (dowód metodą Henkina). 2. Elementy teorii modeli: podstawowe pojęcia i twierdzenia teorii modeli, w szczególności pojęcia typu, elementarnej równoważności, elementarnego zawierania, skolemizacja, twierdzenie Rylla-Nardzewskiego, twierdzenie o omijaniu typów. Redukcja kwantyfikatorów na przykładach prostych teorii (teoria porządków liniowych, teoria algebr Boole'a). Twierdzenie Łosia o ultraprodukcie. Elementy analizy niestandardowej. 3. Teoria mnogości jako "metateoria" dla matematyki. Dyskusja o roli poszczególnych aksjomatów w systemie ZFC. Dyskusja na temat interpretacji podstawowych pojęć matematycznych w ramach teorii mnogości. 4. Elementy teorii rekursji: zbiory i funkcje rekurencyjne, zbiory rekurencyjnie przeliczalne. Równoważne ujęcia pojęcia obliczalności (maszyny Turinga). Przykłady zbiorów nierekurencyjnych i nie rekurencyjnie przeliczalnych. 5. Twierdzenia Goedla i zagadnienia rozstrzygalności i niesprzeczności teorii matematycznych. Uwaga: zasadniczo punkty 1-4 obejmują materiał niezbędny do dobrego wyłożenia twierdzeń Goedla.	
15	Zakładane efekty uczenia się	
	Wiedza: Zna i rozumie podstawowe pojęcia logiki matematycznej. Ma podstawową wiedzę w dziedzinie logiki matematycznej, w ramach jej głównych działów: teorii modeli, teorii mnogości i teorii obliczalności. Rozumie rolę logiki matematycznej w ramach podstaw matematyki.	K_W08 K_W08 K_W08

	Rozumie ograniczenia matematyki mające swe źródła w niezupełności i nierozstrzygalności podstawowych teorii matematycznych, jak również niemożności dowodu ich niesprzeczności.	K_W08
	Umiejętności: Potrafi formułować i analizować w języku logiki i teorii modeli własności struktur matematycznych. Potrafi uzasadniać rostrzygalność i nierozstrzygalność różnych problemów dotyczących prawdziwości i dowodliwości twierdzeń.	K_U08, K_U12 K_U08, K_U12
	Kompetencje społeczne: Jest świadom roli i znaczenia matematyki w rozwiązywaniu problemów o charakterze poznawczym.	K_K02
16	Literatura obowiązkowa i zalecana [1] E. Mendelson, Introduction to Mathematical Logic, 6th ed., Chapman and Hall/CRC, 2015 [2] Adamowicz, P. Zbierski, Logika Matematyczna, PWN, 1991 [3] C.C. Chang, H.J. Keisler, Model Theory, North Holland 1973 [4] J. Shoenfield, Mathematical Logic, Addison-Wesley 1973 [5] G. Sacks, Saturated Model Theory, Benjamin, Reading, 1972	
17	Metody weryfikacji zakładanych efektów uczenia się Ćwiczenia: Ocena rozwiązań przedstawianych przy tablicy oraz zadań domowych stanowiące bieżącą weryfikację opanowania zrealizowanych treści kształcenia i osiągnięcia poszczególnych efektów kształcenia. Wykład: Egzamin pisemny stanowiący końcową weryfikację efektów kształcenia.	
18	Warunki i forma zaliczenia poszczególnych komponentów przedmiotu/modułu Warunkiem zaliczenia przedmiotu jest: – uzyskanie minimum punktowego za zadania stanowiące bieżącą weryfikację efektów kształcenia (zadania domowe i aktywność na zajęciach) – uzyskanie pozytywnej oceny z egzaminu stanowiącego końcową weryfikację efektów kształcenia Szczegółowe warunki zaliczenia przedmiotu określa prowadzący zajęcia w ciągu dwóch tygodni od rozpoczęcia zajęć.	
19	Nakład pracy studenta	
	forma realizacji zajęć przez studenta	liczba godzin przeznaczona na zrealizowanie danego rodzaju zajęć
	zajęcia (wg planu studiów) z prowadzącym: wykład ćwiczenia udział w egzaminie	30 godz. 30 godz. 3 godz.
	praca własna studenta (w tym udział w pracach grupowych) analiza i weryfikacja notatek z zajęć rozwiązywanie zadań z list czytanie literatury, wyszukiwanie informacji wykonanie zadania domowego przygotowanie do egzaminu	15 godz. 25 godz. 10 godz. 20 godz. 30 godz.
	łącznie liczba godzin	163

	Liczba punktów ECTS	6
--	---------------------	---

1	Nazwa przedmiotu/modułu w języku polskim oraz angielskim Methods of classification and dimensionality reduction Methods of classification and dimensionality reduction	
2	Dyscyplina matematyka	
3	Język wykładowy angielski	
4	Jednostka prowadząca przedmiot Instytut Matematyczny	
5	Kod przedmiotu 28-MT-S-tMetKlasReWA	
6	Rodzaj przedmiotu Podstawowy przedmiot kierunkowy do wyboru (Core elective course)	
7	Kierunek studiów Data Science	
8	Poziom studiów II stopień	
9	Rok studiów (jeśli obowiązuje) -	
10	Semestr summer	
11	Forma zajęć i liczba godzin wykład – 30 godzin, laboratorium – 30 godzin	
12	Wymagania wstępne w zakresie wiedzy, umiejętności i kompetencji społecznych dla przedmiotu Algebra liniowa 2 (Linear algebra 2) Rachunek prawdopodobieństwa 1 (Probability 1)	
13	Cele kształcenia dla przedmiotu The course objective is to familiarize students with contemporary methods of classification and dimensionality reduction.	
14	Treści programowe 1. Introduction to feature selection and extraction (dimensionality reduction) 2. Principal components analysis (PCA), singular value decomposition (SVD), independent component analysis (ICA). Applications to image compression. 3. Kernel trick and kernel PCA. 4. Linear discriminant analysis (LDA) and quadratic discriminant analysis (QDA). 5. Non-negative matrix factorization (NMF). Application to recommender systems. 6. Dimensionality reduction in data visualisation: t-distributed Stochastic Neighbor Embedding (t-SNE), UMAP. 7. Classical classifiers: nearest neighbors, naive Bayes classifier, Lagrange multipliers - primal and dual problems, support vector machine (SVM), logistic classifier, linear discriminant analysis (LDA) as well as a dimensionality reduction technique and as a classifier, creating multiclass classifiers from binary classifiers. 8. Clustering algorithms: k-means clustering, Gaussian Mixture Model (GMM). maximum likelihood method, Expectation-Maximization (EM). Application to image generation (digits, handwriting). 9. Working with text, "bag of words", vector word representation (e.g. word2vec) 10. Hidden Markov models (HMM) with discrete and continuous observations, forward and backward procedures, Baum-Welch algorithm, Viterbi algorithm. Application to error correction, fluorescence microscopy image classification and time series classification. 11. Introduction to methods of Monte Carlo Markov Chain (MCMC). Gibbs sampling. Application to "lost" damaged (in some pre-determined, known way) images. Breaking substitution ciphers.	
15	Zakładane efekty uczenia się	
	Wiedza: The student knows and understands a variety of dimensionality reduction techniques. The student knows fundamental "shallow-learning" classification algorithms.	K_W01, K_W04, K_W06, K_W07, K_W08 K_W01, K_W04, K_W06, K_W08

	The student knows basic clustering algorithms. The student knows how to analyze the complexity of given problems and how to come up with some optimizations.	K_W01, K_W04, K_W06, K_W08 K_W01, K_W04, K_W05, K_W06, K_W08
	Umiejętności: The student can design and implement solutions involving machine learning algorithms. The student is familiar with applications of machine learning algorithms to real-life problems, e.g. recommendation systems, text classification, image compression, data visualisation. The student can structure and prepare scientific and technical documentation describing project activities. The student can extend the knowledge acquired during the course by reading and understanding scientific and technical documentation.	K_U01, K_U02, K_U03, K_U04, K_U06, K_U08 K_U02, K_U08 K_U09, K_U10, K_U12 K_U09, K_U12
	Kompetencje społeczne: The student understand the role and importance of mathematics in the analysis of various data types.	K_K02
16	Literatura obowiązkowa i zalecana [1] Andreas C. Muller; Sarah Guido Introduction to machine learning with Python: a guide for data scientists, Sebastopol O'Reilly Media, Inc., 2017 [2] Matthew Kirk Thoughtful Machine Learning With Python, Sebastopol O'Reilly Media, Inc., 2017 [3] Olle Häggström. Finite Markov Chains and Algorithmic Applications, Cambridge University Press, 2002. (chapters 1–7)	
17	Metody weryfikacji zakładanych efektów uczenia się Computer lab: Preparing two individual projects. Lecture: Oral exam with presentation of the projects.	
18	Warunki i forma zaliczenia poszczególnych komponentów przedmiotu/modułu In order to pass the course it is required to obtain a minimal specified number of points for the individual projects (cumulative) and a positive grade from the final exam. The detailed grading rules will be presented by the instructor before the end of the second week of the semester.	
19	Nakład pracy studenta	
	forma realizacji zajęć przez studenta	liczba godzin przeznaczona na zrealizowanie danego rodzaju zajęć
	zajęcia (wg planu studiów) z prowadzącym: wykład laboratorium udział w egzaminie	30 godz. 30 godz. 2 godz.
	praca własna studenta (w tym udział w pracach grupowych) analiza i weryfikacja notatek z zajęć czytanie literatury, wyszukiwanie informacji opracowanie projektu przygotowanie raportu z zajęć przygotowanie do egzaminu	15 godz. 5 godz. 30 godz. 25 godz. 15 godz.
	łączna liczba godzin	152
	Liczba punktów ECTS	6

1	Nazwa przedmiotu/modułu w języku polskim oraz angielskim Modele liniowe Linear models	
2	Dyscyplina matematyka	
3	Język wykładowy polski	
4	Jednostka prowadząca przedmiot Instytut Matematyczny	
5	Kod przedmiotu 28-MT-S-tModLin	
6	Rodzaj przedmiotu Podstawowy przedmiot kierunkowy do wyboru (Core elective course)	
7	Kierunek studiów Data Science	
8	Poziom studiów II stopień	
9	Rok studiów (jeśli obowiązuje) -	
10	Semestr zimowy	
11	Forma zajęć i liczba godzin wykład – 30 godzin, laboratorium – 30 godzin	
12	Wymagania wstępne w zakresie wiedzy, umiejętności i kompetencji społecznych dla przedmiotu Algebra liniowa 2 Analiza matematyczna 3 Podstawy statystyki praktycznej	
13	Cele kształcenia dla przedmiotu Celem przedmiotu jest poznanie przez studentów probabilistycznego modelu regresji liniowej wielorakiej i wieloczynnikowej analizy wariancji oraz teoretycznych podstaw wnioskowania w modelach liniowych, a także nabycie umiejętności praktycznej analizy danych przy użyciu modeli liniowych i prezentowania uzyskanych wyników.	
14	Treści programowe 1. Prosta regresja liniowa - model, estymacja metoda najmniejszych kwadratów/największej wiarygodności. 2. Przedziały ufności, przedziały predykcyjne, pasmo predykcyjne. 3. Testowanie - test Studenta, test F-Snedecora, Tabela Analizy Wariancji, współczynnik dopasowania. 4. Diagnostyka - grafika (wykresy kwantylowe, identyfikacja rodzajów ewentualnych odstępstw od założonego modelu). 5. Diagnostyka - testy statystyczne. 6. Regresja wieloraka - model, estymacja parametrów, przedziały ufności, przedziały predykcyjne. 7. Tabela Analizy Wariancji, test F, testy Studenta. 8. Problem korelacji między zmiennymi niezależnymi. 9. Uogólniony test liniowy. 10. Wybór zmiennych - procedura wstępująca i zstępująca, kryteria wyboru modelu. 11. Diagnostyka - statystyki, grafika, testowanie. 12. Jednoczynnikowa analiza wariancji - model, estymacja parametrów, testowanie. 13. Związek między analizą wariancji a regresją liniową. 14. Wieloczynnikowa analiza wariancji - interakcje między zmiennymi. 15. Modele z czynnikami losowymi - interpretacja, estymacja, testowanie.	
15	Zakładane efekty uczenia się	
	Wiedza: Zna probabilistyczny model regresji liniowej wielorakiej i wieloczynnikowej analizy wariancji.	K_W01, K_W06, K_W08

	Rozumie różnice między efektami stałymi a efektami losowymi. Zna teoretyczne podstawy wnioskowania w modelach liniowych.	K_W01, K_W06, K_W08 K_W01, K_W06, K_W08
	Umiejętności: Potrafi wybrać odpowiedni model i wyestymować jego parametry. Potrafi przełożyć wyniki statystyczne na wnioski naukowe. Potrafi przygotować profesjonalny raport z analizy danych dla niespecjalistów.	K_U01, K_U02, K_U03, K_U05, K_U07, K_U08 K_U02, K_U08, K_U10 K_U02, K_U08, K_U10, K_U11
	Kompetencje społeczne: Rozumie rolę i znaczenie matematyki w analizie różnego typu danych.	K_K02
16	Literatura obowiązkowa i zalecana 1. JJ Faraway, Linear Models with R, Chapman and Hall/CRC 2014 2. M Kutner, C. Nachtsheim, J. Neter, W. Li, Applied Linear Statistical Models 5th Edition, McGraw-Hill/Irwin 2004	
17	Metody weryfikacji zakładanych efektów uczenia się Laboratorium: Przygotowanie indywidualnych raportów oraz sprawdzian pisemny stanowiące bieżącą weryfikację opanowania zrealizowanych treści kształcenia i osiągnięcia poszczególnych efektów kształcenia. Wykład: Egzamin pisemny stanowiący końcową weryfikację efektów kształcenia.	
18	Warunki i forma zaliczenia poszczególnych komponentów przedmiotu/modułu Warunkiem zaliczenia przedmiotu jest: – przygotowanie wszystkich wyznaczonych raportów, – uzyskanie minimum punktowego za zadania stanowiące bieżącą weryfikację efektów kształcenia (przygotowanie raportów, aktywność na zajęciach) – uzyskanie pozytywnej oceny z egzaminu stanowiącego końcową weryfikację efektów kształcenia Szczegółowe warunki zaliczenia przedmiotu określa prowadzący zajęcia w ciągu dwóch tygodni od rozpoczęcia zajęć.	
19	Nakład pracy studenta	
	forma realizacji zajęć przez studenta	liczba godzin przeznaczona na zrealizowanie danego rodzaju zajęć
	zajęcia (wg planu studiów) z prowadzącym: wykład laboratorium udział w egzaminie	30 godz. 30 godz. 3 godz.
	praca własna studenta (w tym udział w pracach grupowych) analiza i weryfikacja notatek z zajęć czytanie literatury, wyszukiwanie informacji przygotowanie raportu z zajęć przygotowanie do sprawdzianu przygotowanie do egzaminu	15 godz. 5 godz. 30 godz. 20 godz. 20 godz.
	Łączna liczba godzin	153
	Liczba punktów ECTS	6

1	Nazwa przedmiotu/modułu w języku polskim oraz angielskim Modelowanie deterministyczne Deterministic modeling	
2	Dyscyplina matematyka	
3	Język wykładowy polski	
4	Jednostka prowadząca przedmiot Instytut Matematyczny	
5	Kod przedmiotu 28-MT-S-tModDeter	
6	Rodzaj przedmiotu Przedmiot kierunkowy do wyboru (Elective course)	
7	Kierunek studiów Data Science	
8	Poziom studiów II stopień	
9	Rok studiów (jeśli obowiązuje) -	
10	Semestr zimowy	
11	Forma zajęć i liczba godzin wykład – 30 godzin, laboratorium – 30 godzin	
12	Wymagania wstępne w zakresie wiedzy, umiejętności i kompetencji społecznych dla przedmiotu Równania różniczkowe 1	
13	Cele kształcenia dla przedmiotu Celem przedmiotu jest nabycie przez studentów umiejętności budowania modeli matematycznych z wykorzystaniem równań różniczkowych zwyczajnych i cząstkowych oraz numerycznej analizy własności rozwiązań tych modeli.	
14	Treści programowe 1. Równanie jednej populacji: model Malthusa, równanie logistyczne, modele odłowów. Przypomnienie twierdzeń o istnieniu, jednoznaczności i przedłużaniu rozwiązań. 2. Dwuwymiarowe modele ekologiczne: model Lotki-Volterra, model konkurencji, model symbiozy. Przypomnienie portretów fazowych i twierdzeń o stabilności rozwiązań. 3. Modele w epidemiologii: model SI, przebieg rozwiązań układu Kermacka-McKendricka (SIR), inne modele epidemiologiczne 4. Równanie dyfuzji. Zagadnienia brzegowo-początkowe dla równania dyfuzji. 5. Fale biegnące w modelach epidemii 6. Niestabilność Turinga.	
15	Zakładane efekty uczenia się	
	Wiedza: Zna i rozumie podstawowe metody budowania matematycznych modeli problemów z dziedziny biologii. Zna i rozumie metody numeryczne pozwalające analizować własności rozwiązań równań różniczkowych.	K_W06, K_W08 K_W06, K_W08
	Umiejętności: Konstruuje matematyczne modele problemów z dziedziny biologii. Numerycznie analizuje własności rozwiązań skonstruowanych modeli.	K_U08, K_U12 K_U08, K_U12

	Kompetencje społeczne: Jest świadom roli i znaczenia matematyki w opisie procesów biologicznych.	K_K02
16	Literatura obowiązkowa i zalecana [1] J.D. Murray, Mathematical Biology, Vol. 1 and 2, Springer 1993-2002 [2] G. De Vries, T. Hillen, M. Lewis, J. Muller, B. Schonfisch, A Course in Mathematical Biology: Quantitative Modeling with Mathematical and Computational Methods, SIAM 2006	
17	Metody weryfikacji zakładanych efektów uczenia się Laboratorium: Samodzielne rozwiązywanie zadań komentowane przez prowadzącego ćwiczenia, ocena raportów przygotowywanych przez studentów. Wykład: Egzamin pisemny lub ustny stanowiący końcową weryfikację efektów kształcenia.	
18	Warunki i forma zaliczenia poszczególnych komponentów przedmiotu/modułu Warunkiem zaliczenia przedmiotu jest uzyskanie minimum punktowego za zadania stanowiące bieżącą weryfikację efektów kształcenia (aktywność na zajęciach, przygotowanie raportów) oraz pozytywna ocena z egzaminu stanowiącego końcową weryfikację efektów kształcenia. Szczegółowe warunki zaliczenia przedmiotu określa prowadzący zajęcia w ciągu dwóch tygodni od rozpoczęcia zajęć.	
19	Nakład pracy studenta	
	forma realizacji zajęć przez studenta	liczba godzin przeznaczona na zrealizowanie danego rodzaju zajęć
	zajęcia (wg planu studiów) z prowadzącym: wykład laboratorium udział w egzaminie	30 godz. 30 godz. 3 godz.
	praca własna studenta (w tym udział w pracach grupowych) analiza i weryfikacja notatek z zajęć czytanie literatury, wyszukiwanie informacji przygotowanie raportu z zajęć przygotowanie do egzaminu analiza numeryczna modeli	15 godz. 15 godz. 20 godz. 25 godz. 15 godz.
	łączna liczba godzin	153
	Liczba punktów ECTS	6

1	Nazwa przedmiotu/modułu w języku polskim oraz angielskim Programowanie 1 (Python) Programming 1 (Python)	
2	Dyscyplina matematyka	
3	Język wykładowy polski	
4	Jednostka prowadząca przedmiot Instytut Matematyczny	
5	Kod przedmiotu 28-MT-S-oPr1Pyth	
6	Rodzaj przedmiotu Przedmiot kierunkowy do wyboru (Elective course)	
7	Kierunek studiów Data Science	
8	Poziom studiów II stopień	
9	Rok studiów (jeśli obowiązuje) -	
10	Semestr zimowy	
11	Forma zajęć i liczba godzin wykład – 30 godzin, laboratorium – 30 godzin	
12	Wymagania wstępne w zakresie wiedzy, umiejętności i kompetencji społecznych dla przedmiotu -	
13	Cele kształcenia dla przedmiotu Celem przedmiotu jest poznanie przez studentów podstawowych konstrukcji programowania imperatywnego, proceduralnego i obiektowego na przykładzie języka Python oraz kształtowanie umiejętności wykorzystywania bibliotek Pythona – matplotlib oraz sympy – do różnorodnych problemów pojawiających się w matematyce: do wizualizacji i analizy danych, obliczeń symbolicznych, symulacji zjawisk losowych, fraktali oraz problemów z analizy matematycznej.	
14	Treści programowe 1. Podstawy języka Python. Składnia i semantyka, wyrażenia i instrukcje. Podstawowe typy. Podstawy wejścia i wyjścia. Priorytety operatorów. Instrukcja warunkowa, pętle. Proste formatowanie tekstu. Funkcje, zasięgi zmiennych. Rekursja i iteracja. Moduły. Proste algorytmy. 2. Podstawowe typy danych. Listy, krotki, napisy, słowniki, zbiory oraz praca na nich. 3. Obsługa plików tekstowych i wyjątków. 4. Podstawy programowania obiektowego. Definiowanie klas, przeciążanie operatorów. Testy jednostkowe. 5. Liczby losowe. Modelowanie problemów statystycznych, metoda Monte Carlo. 6. Zastosowania bibliotek Matplotlib, SymPy i NumPy do różnorodnych problemów pojawiających się w matematyce: wizualizacji oraz analizy danych, obliczeniach symbolicznych, symulacjach zjawisk losowych, fraktalach czy w analizie matematycznej.	
15	Zakładane efekty uczenia się	
	Wiedza: Zna podstawowe konstrukcje i funkcje wybranego języka programowania. Rozróżnia podstawowe struktury i typy danych.	K_W08 K_W08
	Umiejętności: Potrafi stosować podstawowe konstrukcje i funkcje wybranego języka programowania.	K_U08

	Potrafi napisać, uruchomić, testować i modyfikować prosty program komputerowy. Potrafi napisać program komputerowy rozwiązujący proste problemy matematyczne.	K_U08 K_U08
	Kompetencje społeczne: Rozumie rolę narzędzi informatycznych w pracy matematyka.	K_K02
16	Literatura obowiązkowa i zalecana 1. Eric Matthes — Python Crash Course: A Hands-On, Project-Based Introduction to Programming 2. Luciano Ramalho — Fluent Python: Clear, Concise, and Effective Programming 3. Amit Saha — Doing Math with Python: Use Programming to Explore Algebra, Statistics, Calculus, and More! 4. Al Sweigart — Automate the Boring Stuff with Python: Practical Programming for Total Beginners	
17	Metody weryfikacji zakładanych efektów uczenia się Ćwiczenia: Zadania domowe stanowiące bieżącą weryfikację opanowania zrealizowanych treści kształcenia i osiągnięcia poszczególnych efektów kształcenia. Wykład: Egzamin pisemny stanowiący końcową weryfikację efektów kształcenia.	
18	Warunki i forma zaliczenia poszczególnych komponentów przedmiotu/modułu Warunkiem zaliczenia przedmiotu jest: – uzyskanie minimum punktowego za zadania domowe stanowiące bieżącą weryfikację efektów kształcenia – uzyskanie minimum punktowego za egzamin stanowiący końcową weryfikację efektów kształcenia Szczegółowe warunki zaliczenia przedmiotu określa prowadzący zajęcia w ciągu dwóch tygodni od rozpoczęcia zajęć.	
19	Nakład pracy studenta	
	forma realizacji zajęć przez studenta	liczba godzin przeznaczona na zrealizowanie danego rodzaju zajęć
	zajęcia (wg planu studiów) z prowadzącym: wykład laboratorium udział w egzaminie	30 godz. 30 godz. 3 godz.
	praca własna studenta (w tym udział w pracach grupowych) analiza i weryfikacja notatek z zajęć rozwiązywanie zadań z list czytanie literatury, wyszukiwanie informacji wykonanie zadania domowego przygotowanie do egzaminu	10 godz. 30 godz. 10 godz. 20 godz. 20 godz.
	łączna liczba godzin	153
	Liczba punktów ECTS	6

1	Nazwa przedmiotu/modułu w języku polskim oraz angielskim Programowanie 2 (C++) Programming 2 (C++)	
2	Dyscyplina matematyka	
3	Język wykładowy polski	
4	Jednostka prowadząca przedmiot Instytut Matematyczny	
5	Kod przedmiotu 28-MT-S-LPr2C	
6	Rodzaj przedmiotu Przedmiot kierunkowy do wyboru (Elective course)	
7	Kierunek studiów Data Science	
8	Poziom studiów II stopień	
9	Rok studiów (jeśli obowiązuje) -	
10	Semestr zimowy	
11	Forma zajęć i liczba godzin wykład – 30 godzin, laboratorium – 30 godzin	
12	Wymagania wstępne w zakresie wiedzy, umiejętności i kompetencji społecznych dla przedmiotu Programowanie 1 (C++)	
13	Cele kształcenia dla przedmiotu Celem przedmiotu jest rozszerzenie umiejętności programowania w C++.	
14	Treści programowe 1. Jednostki translacji i fizyczna struktura kodu. Deklaracje i definicje. Łączenie wewnętrzne i zewnętrzne. Zasada pojedynczej definicji. Funkcje inline. Przestrzenie nazw. Deklaracje i definicje wzorców. 2. Obiekty na stacku i inne zasoby, zarządzanie zasobami, strategia RAII, unique_ptr oraz kolekcje unique_ptr. Płytkie i głębokie kopie. Przenoszenie zasobów. 3. Przegląd konstrukcji związanych z pojęciem klasy: prawa dostępu, zagnieżdżone deklaracje, typedef, deklaracje friend, składowe statyczne, metody stałe i nie-stałe, konstruktory zwykłe, kopiujące, przenoszące i z inicjalizatora, użycie funkcji swap, standardowy operator przypisania odporny na wyjątki, operatory konwersji wraz z pułapkami z nimi związanymi, dziedziczenie pojedyncze, wielokrotne i jego pułapki, wirtualne metody i destruktory, dziedziczenie wirtualne, slicing, polimorfizm czasu wykonania (hierarchie klas), klasy abstrakcyjne, składowe a dziedziczenie publiczne, prywatne i chronione. 4. Zasada podstawienia Liskov. Odmienność natury interfejsu const od nie-const i wynikającego z niej naturalnego kierunku dziedziczenia interfejsów. Value Semantics. 5. Strategie obsługi błędów. Wyjątki: tworzenie, obsługa, hierarchie, zasoby w obiektach wyjątków. Trzy poziomy gwarancji odporności funkcji na wyjątki: pozostawianie usuwalnych obiektów, transakcyjność i noexcept. 6. Programy sterowane zdarzeniami. Zastosowanie bibliotek do tworzenia aplikacji wyposażonych w graficzny interfejs użytkownika.	
15	Zakładane efekty uczenia się	
	Wiedza: Zna najważniejsze pojęcia informatyczne z zakresu programowania obiektowego.	K_W08
	Umiejętności:	

	Potrafi rozpoznać i omówić rozumowania matematyczne stojące za programistycznym rozwiązaniem zagadnienia Potrafi zaimplementować prosty algorytm. Potrafi wykorzystywać podstawowe struktury danych w pisanych programach komputerowych.	K_U08 K_U08 K_U08
	Kompetencje społeczne: Rozumie rolę narzędzi informatycznych w pracy matematyka.	
16	Literatura obowiązkowa i zalecana 1. B. Eckel, Thinking In C++ tom 2, Helion 2004 2. B. Stroustrup, Język C++, WNT 2002, Addison-Wesley 2014 (wersja ang.) 3. B. Milewski, C++ in action	
17	Metody weryfikacji zakładanych efektów uczenia się Ćwiczenia: Zadania domowe stanowiące bieżącą weryfikację opanowania zrealizowanych treści kształcenia i osiągnięcia poszczególnych efektów kształcenia. Wykład: Egzamin pisemny stanowiący końcową weryfikację efektów kształcenia.	
18	Warunki i forma zaliczenia poszczególnych komponentów przedmiotu/modułu Warunkiem zaliczenia przedmiotu jest: – uzyskanie minimum punktowego za zadania domowe stanowiące bieżącą weryfikację efektów kształcenia – uzyskanie minimum punktowego za egzamin stanowiący końcową weryfikację efektów kształcenia Szczegółowe warunki zaliczenia przedmiotu określa prowadzący zajęcia w ciągu dwóch tygodni od rozpoczęcia zajęć.	
19	Nakład pracy studenta	
	forma realizacji zajęć przez studenta	liczba godzin przeznaczona na zrealizowanie danego rodzaju zajęć
	zajęcia (wg planu studiów) z prowadzącym: wykład laboratorium udział w egzaminie	30 godz. 30 godz. 3 godz.
	praca własna studenta (w tym udział w pracach grupowych) analiza i weryfikacja notatek z zajęć rozwiązywanie zadań z list czytanie literatury, wyszukiwanie informacji wykonanie zadania domowego przygotowanie do egzaminu	10 godz. 30 godz. 10 godz. 20 godz. 25 godz.
	łączna liczba godzin	158
	Liczba punktów ECTS	6

1	Nazwa przedmiotu/modułu w języku polskim oraz angielskim Równania różniczkowe 2 R Differential equations 2 R
2	Dyscyplina matematyka
3	Język wykładowy polski
4	Jednostka prowadząca przedmiot Instytut Matematyczny
5	Kod przedmiotu 28-MT-S-TRR2R
6	Rodzaj przedmiotu Przedmiot kierunkowy do wyboru (Elective course)
7	Kierunek studiów Data Science
8	Poziom studiów II stopień
9	Rok studiów (jeśli obowiązuje) -
10	Semestr zimowy
11	Forma zajęć i liczba godzin wykład – 30 godzin, ćwiczenia – 30 godzin
12	Wymagania wstępne w zakresie wiedzy, umiejętności i kompetencji społecznych dla przedmiotu Równania różniczkowe 1 R
13	Cele kształcenia dla przedmiotu Celem przedmiotu jest doskonalenie umiejętności rozwiązywania równań różniczkowych zwyczajnych i cząstkowych, badania jakościowych własności rozwiązań i stosowania modeli deterministycznych opartych na równaniach różniczkowych w opisie rzeczywistości fizycznej i biologicznej, a także poznanie przez studentów współczesnych metod analizy równań różniczkowych, w tym metod wariacyjnych.
14	Treści programowe 1. Przypomnienie twierdzenia Banacha o kontrakcji i jego zastosowanie do dowodu twierdzenia Picarda–Lindelöfa. Lemat Gronwalla. Twierdzenie Arzeli–Ascoli. Twierdzenie Peano. Twierdzenie Osgooda. 2. Potok fazowy, zbiory graniczne, Twierdzenie Poincaré–Bendixsona. Układ Lorenza i dzikie atraktory. 3. Rachunek różniczkowy na przestrzeniach Banacha. Pochodne Fréchet’a i Gâteaux (tylko w przypadku funkcjonałów). Rachunek wariacyjny. Lematy Bois-Reymonda. Równanie Eulera–Lagrange’a. 4. Wstęp do mechaniki klasycznej. Zasada zachowania energii, zasada Lagrange’a, funkcja Lapunowa i twierdzenie Lapunowa. 5. Ekstrema warunkowe. Klasyczne zagadnienie izoperymetryczne. Inne klasyczne przykłady. 6. Zasada Dirichleta jako motywacja do słabych pochodnych. Przestrzenie Sobolewa nad L^2 . 7. Nierówności Sobolewa i nierówność Poincaré’go. 8. Gęstość funkcji gładkich w przestrzeniach Sobolewa. Twierdzenie Rellicha–Kondrachova w najprostszym przypadku L^2 . 9. Ogólne liniowe równanie eliptyczne II-go rzędu. Nierówność Gårdinga. Lemat Laxa–Milgrama i słabe rozwiązania liniowych równań eliptycznych. 10. Bezpośrednia metoda rachunku wariacyjnego dla słabych rozwiązań liniowych równań eliptycznych. Metoda Galerкина dla liniowych równań eliptycznych 11. Regularność w przestrzeniach Sobolewa rozwiązań równań eliptycznych. 12. Wartości własne i funkcje własne laplasjanu. Baza w przestrzeni Sobolewa. Nieujemność pierwszej funkcji własnej. 13. Całka Bochnera (wprowadzenie) i istnienie słabych rozwiązań dla równania ciepła z warunkami brzegowymi Dirichleta (metodą Galerкина).

15	Zakładane efekty uczenia się	
	Wiedza: Zna i rozumie koncepcje geometrycznego badania równań różniczkowych. Zna i rozumie podstawowe pojęcia, metody i twierdzenia teorii słabych rozwiązań równań różniczkowych. Zna i rozumie najważniejsze zastosowania równań różniczkowych do rozwiązywania zagadnień mechaniki klasycznej.	K_W08 K_W08 K_W06, K_W08
	Umiejętności: Stosuje metody układów dynamicznych do rozwiązywania zagadnień z mechaniki klasycznej. Potrafi sformułować i rozwiązać problem wariacyjny opisujący proste zjawiska fizyczne. Potrafi sformułować zagadnienie wariacyjne związane z równaniem różniczkowym i zaproponować metodę jego analizy.	K_U08, K_U12 K_U08, K_U12 K_U08, K_U12
	Kompetencje społeczne: Jest świadom roli i znaczenia matematyki w opisie procesów i zjawisk fizycznych.	K_K02
16	Literatura obowiązkowa i zalecana [1] M. Braun, Differential Equations and Their Applications, An Introduction to Applied Mathematics, Springer, New York, 1983 [2] A. Palczewski, Równania różniczkowe zwyczajne, WNT, Warszawa 1999-2004 [3] Ph. Hartman, Ordinary Differential Equations, Wiley, New York, 1964 [4] W.I. Arnold, Równania różniczkowe zwyczajne, PWN, WNT, 1999-2004 [5] L. Evans, Równania różniczkowe cząstkowe, Część II, PWN Warszawa 2002-2004 [6] I. M. Gelfand, S. W. Fomin, Rachunek wariacyjny, PWN Warszawa 1975 [7] V. Alexeev, S. Fomin, V. Tikhomirov, Optimal control, Ch. 1, Consultants Bureau 1987 [8] D. K. Arrowsmith, C. M. Place, Ordinary Differential Equations. A Qualitative Approach with Applications, Chapman & Hall London 1982 Materiały dydaktyczne: Listy zadań i inne materiały zamieszczane na stronie internetowej prowadzącego	
17	Metody weryfikacji zakładanych efektów uczenia się Ćwiczenia: Trzy lub cztery sprawdziany pisemne oraz aktywność na zajęciach stanowiące bieżącą weryfikację opanowania zrealizowanych treści. Wykład: Egzamin pisemny lub ustny stanowiący końcową weryfikację efektów kształcenia.	
18	Warunki i forma zaliczenia poszczególnych komponentów przedmiotu/modułu Warunkiem zaliczenia jest uzyskanie minimum punktowego za zadania stanowiące bieżącą weryfikację efektów kształcenia (sprawdziany pisemne i zadania rozwiązywane przy tablicy) oraz uzyskanie pozytywnej oceny z egzaminu końcowego. Szczegółowe warunki zaliczenia przedmiotu określa prowadzący zajęcia w ciągu dwóch tygodni od rozpoczęcia zajęć.	
19	Nakład pracy studenta	

	forma realizacji zajęć przez studenta	liczba godzin przeznaczona na zrealizowanie danego rodzaju zajęć
	zajęcia (wg planu studiów) z prowadzącym: wykład ćwiczenia udział w egzaminie	30 godz. 30 godz. 2 godz.
	praca własna studenta (w tym udział w pracach grupowych) analiza i weryfikacja notatek z zajęć rozwiązywanie zadań z list czytanie literatury, wyszukiwanie informacji przygotowanie do sprawdzianu przygotowanie do egzaminu	20 godz. 30 godz. 10 godz. 20 godz. 25 godz.
	łączna liczba godzin	167
	Liczba punktów ECTS	6

1	Nazwa przedmiotu/modułu w języku polskim oraz angielskim Simulations and algorithmic applications of Markov chains Simulations and algorithmic applications of Markov chains	
2	Dyscyplina matematyka	
3	Język wykładowy angielski	
4	Jednostka prowadząca przedmiot Instytut Matematyczny	
5	Kod przedmiotu 28-MT-S-tSyAlgZaLMA	
6	Rodzaj przedmiotu Podstawowy przedmiot kierunkowy do wyboru (Core elective course)	
7	Kierunek studiów Data Science	
8	Poziom studiów II stopień	
9	Rok studiów (jeśli obowiązuje) -	
10	Semestr winter	
11	Forma zajęć i liczba godzin wykład – 30 godzin, ćwiczenia – 30 godzin	
12	Wymagania wstępne w zakresie wiedzy, umiejętności i kompetencji społecznych dla przedmiotu Rachunek prawdopodobieństwa 1 (Probability 1)	
13	Cele kształcenia dla przedmiotu The course objective is to familiarize students with Markov chains algorithms and simulation techniques and learning practical constructions of algorithms based on Markov chains.	
14	Treści programowe 1. Markov chains with finite number of states. 2. Computer simulation of Markov chains. Random number generators (and their imperfections). 3. Stationary distribution. 4. Random walking in graphs. Reversible chains. 5. Monte Carlo Markov Chains. Metropolis-Hastings algorithm. Gibbs sampling. Ising model. Hard-core model. Speed of convergence. 6. Approximate counting (of combinatorial objects). Graph q-coloring. 7. Perfect simulation: Propp-Wilson algorithm (Coupling From The Past). 8. Siegmund duality. Application to gambler's ruin problem. 9. Strong Stationary Times and dual chains. J. A. Fill's algorithm for perfect simulation. 10. Hidden Markov Models.	
15	Zakładane efekty uczenia się	
	Wiedza: The student understands the notion of Markov chains and random walks. The student understands the construction of sampling models, including Gibbs sampler and Metropolis-Hasting algorithms. The student knows how to obtain an unbiased sample from some distributions using the Coupling From The Past algorithm. The student knows the constructions and algorithms used in Hidden Markov Models.	K_W01, K_W06, K_W08 K_W01, K_W06, K_W08 K_W01, K_W06, K_W08 K_W01, K_W06, K_W08
	Umiejętności: The student can analyze the behaviour of a random walk.	K_U02, K_U03, K_U07, K_U08

	The student can assess the performance of some randomized algorithms. The student can use and implement algorithms related to Hidden Markov Models.	K_U02, K_U03, K_U07, K_U08 K_U01, K_U02, K_U03, K_U04, K_U08
	Kompetencje społeczne: The student is aware of the role and importance of mathematics in solving problems of cognitive character.	K_K02
16	Literatura obowiązkowa i zalecana [1] O. Haggstrom, Finite Markov chains and algorithmic applications [2] Levin, Peres, Wilmer, Markov Chains and Mixing Times [3] J.A. Fill, An Interruptible Algorithm for Perfect Sampling via Markov Chains [4] L. R. Rabiner, A tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition [5] P. Lorek, Siegmund duality for Markov chains on partially ordered state spaces, Probability in the Engineering and Informational Sciences, 1-27, 2017 [6] P. Lorek, Generalized Gambler's Ruin Problem: Explicit Formulas via Siegmund Duality, Methodology and Computing in Applied Probability, 603-613, 2017	
17	Metody weryfikacji zakładanych efektów uczenia się Recitation classes: Two midterm exams and observing students activity during classes. Lecture: Written exam.	
18	Warunki i forma zaliczenia poszczególnych komponentów przedmiotu/modułu In order to pass the course it is required to obtain a minimal specified number of points for the midterm exams (cumulative) and a positive grade from the final exam. The detailed grading rules will be presented by the instructor before the end of the second week of the semester.	
19	Nakład pracy studenta	
	forma realizacji zajęć przez studenta	liczba godzin przeznaczona na zrealizowanie danego rodzaju zajęć
	zajęcia (wg planu studiów) z prowadzącym: wykład ćwiczenia udział w egzaminie	30 godz. 30 godz. 3 godz.
	praca własna studenta (w tym udział w pracach grupowych) analiza i weryfikacja notatek z zajęć rozwiązywanie zadań z list czytanie literatury, wyszukiwanie informacji przygotowanie do sprawdzianu przygotowanie do egzaminu	15 godz. 25 godz. 10 godz. 20 godz. 20 godz.
	łączna liczba godzin	153
	Liczba punktów ECTS	6

1	Nazwa przedmiotu/modułu w języku polskim oraz angielskim Statistical learning Statistical learning	
2	Dyscyplina matematyka	
3	Język wykładowy angielski	
4	Jednostka prowadząca przedmiot Instytut Matematyczny	
5	Kod przedmiotu 28-MT-S-tStatLearn	
6	Rodzaj przedmiotu Obowiązkowy przedmiot kierunkowy (Mandatory course)	
7	Kierunek studiów Data Science	
8	Poziom studiów II stopień	
9	Rok studiów (jeśli obowiązuje) pierwszy	
10	Semestr summer	
11	Forma zajęć i liczba godzin wykład – 30 godzin, laboratorium – 30 godzin	
12	Wymagania wstępne w zakresie wiedzy, umiejętności i kompetencji społecznych dla przedmiotu Algebra liniowa 2 (Linear algebra 2) Analiza i topologia (Analysis and topology) Modele liniowe (Linear models) Rachunek prawdopodobieństwa 1 (Probability 1)	
13	Cele kształcenia dla przedmiotu The course objective is to familiarize students with contemporary methods of statistical learning.	
14	Treści programowe Study in the noiseless case: 1) minimization of the l1 norm: Basis pursuit 2) Identifiability with respect to the l1 norm and asymptotic phase transition curve Study in the noisy case: 3) Introduction to LASSO estimator, relation between LASSO and basis pursuit denoising. 4) Introduction to SLOPE estimator 5) Stein's unbiased risk estimate (SURE) formula for LASSO and SLOPE	
15	Zakładane efekty uczenia się	
	Wiedza: The student knows and understands various methods of optimal choice of the linear model. The student knows and understands the basic notions describing properties of methods used in the analysis of large data sets. The student understands the foundations of the dimensionality reduction in unsupervised learning.	K_W01, K_W06 K_W01, K_W02, K_W06 K_W01, K_W02, K_W04
	Umiejętności: The student can plan and implement computer simulations. The student can implement various statistical methods presented during the course. The students can choose the statistical method appropriate for the purpose of the analysis.	K_U05, K_U07 K_U05, K_U07 K_U05, K_U07, K_U09

	Kompetencje społeczne: The student understand the role and importance of mathematics in the description of phenonemena of random character.	K_K02
16	Literatura obowiązkowa i zalecana [1] S. Foucart, H. Rauhut. An invitation to compressive sensing [2] T. Hastie, R. Tibshirani, M. Wainwright, Statistical Learning with Sparsity: The Lasso and Generalizations	
17	Metody weryfikacji zakładanych efektów uczenia się Computer lab: Preparing individual reports and midterm exam. Lecture: Written exam.	
18	Warunki i forma zaliczenia poszczególnych komponentów przedmiotu/modułu In order to pass the course it is required to obtain a minimal specified number of points for the midterm exam and individual reports (cumulative) and a positive grade from the final exam. The detailed grading rules will be presented by the instructor before the end of the second week of the semester.	
19	Nakład pracy studenta	
	forma realizacji zajęć przez studenta	liczba godzin przeznaczona na zrealizowanie danego rodzaju zajęć
	zajęcia (wg planu studiów) z prowadzącym: wykład laboratorium udział w egzaminie	30 godz. 30 godz. 2 godz.
	praca własna studenta (w tym udział w pracach grupowych) analiza i weryfikacja notatek z zajęć czytanie literatury, wyszukiwanie informacji przygotowanie raportu z zajęć przygotowanie do sprawdzianu przygotowanie do egzaminu	15 godz. 15 godz. 30 godz. 20 godz. 15 godz.
	łącznie liczba godzin	157
	Liczba punktów ECTS	6

1	Nazwa przedmiotu/modułu w języku polskim oraz angielskim Szeregi czasowe Time series
2	Dyscyplina matematyka
3	Język wykładowy polski
4	Jednostka prowadząca przedmiot Instytut Matematyczny
5	Kod przedmiotu 28-MT-S-tSzerCzas
6	Rodzaj przedmiotu Przedmiot kierunkowy do wyboru (Elective course)
7	Kierunek studiów Data Science
8	Poziom studiów II stopień
9	Rok studiów (jeśli obowiązuje) -
10	Semestr zimowy
11	Forma zajęć i liczba godzin wykład – 30 godzin, ćwiczenia – 30 godzin
12	Wymagania wstępne w zakresie wiedzy, umiejętności i kompetencji społecznych dla przedmiotu Algebra liniowa 2 Rachunek prawdopodobieństwa 1
13	Cele kształcenia dla przedmiotu Celem przedmiotu jest poznanie przez studentów wybranych pojęć i metod statystycznej analizy danych, w szczególności estymacji i testowania hipotez oraz nabycie umiejętności ich stosowania do analizy danych empirycznych.
14	Treści programowe I Podstawowe pojęcia szeregów czasowych 1. Szereg czasowy z dyskretnym parametrem czasowym jako proces stochastyczny. 2. Stacjonarny szereg czasowy w szerszym sensie i jego charakteryzacja poprzez funkcje autokorelacji i średniej. 3. Klasyczny model szeregu czasowego jako suma funkcji trendu, funkcji sezonowości i błędu losowego utożsamianego z stacjonarnym szeregiem czasowym. 4. Ogólne modele szeregów czasowych. 5. Modele stacjonarnych szeregów czasowych (proces białego szumu, proces średniej ruchomej, proces autoregresji, mieszany proces autoregresji i średniej ruchomej tj. model ARMA, procesy liniowe). 6. Własności modeli ARMA (wynikowość i odwracalność). II Transformacje szeregów czasowych 1. Transformacja Box-Cox usuwająca zmienność w wariancji. 2. Filtry liniowe. 3. Operacje różnicowania. III Estymacja funkcji trendu i sezonowości 1. Metoda klasyczna oparta na metodzie najmniejszych kwadratów. 2. Metody oparte na filtrach liniowych i operatorze różnicowania. IV Prognoza procesów stacjonarnych 1. Algorytm Durbina-Levinsona. 2. Algorytm Innowacyjny. V Dopasowanie modeli szeregów czasowych danych 1. Algorytm Yule-Walkera i Algorytm Burga. 2. Algorytm Innowacyjny. 3. Algorytm oparty na metodzie największej wiarygodności.

	VI Analiza spektralna 1. Reprezentacja spektralna szeregu czasowego i stacjonarność. 2. Gęstość spektralna. 3. Periodogram i testowanie ukrytych sezonowości. VII Wielowymiarowe szeregi czasowe	
15	Zakładane efekty uczenia się	
	Wiedza: Zna i rozumie podstawowe pojęcia, metody i twierdzenia teorii szeregów czasowych. Zna podstawowe modele szeregów czasowych. Zna teoretyczne i praktyczne aspekty analizy empirycznych szeregów czasowych.	K_W08 K_W08 K_W06, K_W08
	Umiejętności: Dobiera transformacje przeprowadzające empiryczny szereg czasowy w stacjonarny empiryczny szereg czasowy. Dobiera model szeregu czasowego do danych empirycznych. Przygotowuje optymalną prognozę na podstawie empirycznego szeregu czasowego.	K_U08, K_U12 K_U08, K_U12 K_U08, K_U10, K_U12
	Kompetencje społeczne: Jest świadom roli i znaczenia matematyki w opisie zjawisk o charakterze losowym.	K_K02
16	Literatura obowiązkowa i zalecana [1] P. J. Brockwell, R. A. Davis, Introduction to Time Series and Forecasting, Springer Texts In Statistics, Third Edition, 2016 [2] P. J. Brockwell, R. A. Davis, Time Series: Theory and Methods, Springer Series In Statistics, 1991 [3] A. Zagdański, A. Suchwałko, Analiza i prognozowanie szeregów czasowych, PWN, 2016 [4] R.H. Shumway, D.S. Stoffer, Time Series Analysis and Its Applications (With R Examples), Springer, Fourth Edition, 2017	
17	Metody weryfikacji zakładanych efektów uczenia się Ćwiczenia: Sprawdzian pisemny stanowiący bieżącą weryfikację opanowania zrealizowanych treści kształcenia i osiągnięcia poszczególnych efektów kształcenia. Wykład: Egzamin pisemny stanowiący końcową weryfikację efektów kształcenia.	
18	Warunki i forma zaliczenia poszczególnych komponentów przedmiotu/modułu Warunkiem zaliczenia przedmiotu jest: – uzyskanie 50% punktów za zadania stanowiące bieżącą weryfikację efektów kształcenia (sprawdzian pisemny) – uzyskanie 50% punktów z egzaminu stanowiącego końcową weryfikację efektów kształcenia Szczegółowe warunki zaliczenia przedmiotu określa prowadzący zajęcia w ciągu dwóch tygodni od rozpoczęcia zajęć.	
19	Nakład pracy studenta	
	forma realizacji zajęć przez studenta	liczba godzin przeznaczona na zrealizowanie danego rodzaju zajęć
	zajęcia (wg planu studiów) z prowadzącym: wykład ćwiczenia udział w egzaminie	30 godz. 30 godz. 3 godz.
	praca własna studenta (w tym udział w pracach grupowych)	

	analiza i weryfikacja notatek z zajęć rozwiązywanie zadań z list czytanie literatury, wyszukiwanie informacji przygotowanie do sprawdzianu przygotowanie do egzaminu	10 godz. 30 godz. 10 godz. 30 godz. 30 godz.
	łączna liczba godzin	173
	Liczba punktów ECTS	6

1	Nazwa przedmiotu/modułu w języku polskim oraz angielskim Teoria gier Game theory	
2	Dyscyplina matematyka	
3	Język wykładowy polski	
4	Jednostka prowadząca przedmiot Instytut Matematyczny	
5	Kod przedmiotu 28-MT-S-tTGier	
6	Rodzaj przedmiotu Przedmiot kierunkowy do wyboru (Elective course)	
7	Kierunek studiów Data Science	
8	Poziom studiów II stopień	
9	Rok studiów (jeśli obowiązuje) -	
10	Semestr zimowy	
11	Forma zajęć i liczba godzin wykład – 30 godzin, ćwiczenia – 30 godzin	
12	Wymagania wstępne w zakresie wiedzy, umiejętności i kompetencji społecznych dla przedmiotu Analiza matematyczna 2	
13	Cele kształcenia dla przedmiotu Celem przedmiotu jest umożliwienie studentom poznania pojęć, rodzajów oraz metod teorii gier.	
14	Treści programowe 1. Wprowadzenie i przykłady gier Gry wielosobowe, dwuosobowe, dwuosobowe o sumie zero, wieloetapowe, losowe 2. Podstawowe pojęcia Strategia: czysta, mieszana, wartość gry i: gracza, punkt równowagi Nasha i niektóre jego własności, optymalna wypłata w sensie Pareto, dominacja 3. Gry o sumie zero Własności strategii optymalnych, niektóre typy gier macierzowych i metody ich rozwiązywania (gry o macierzy antysymetrycznej, gry typu $2 \times n$ oraz $m \times 2$) 4. Gry statystyczne Gry przeciwko Naturze, randomizacja 5. Przetargi - schemat arbitrażowy Nasha	
15	Zakładane efekty uczenia się	
	Wiedza: Zna i rozumie podstawowe pojęcia, metody i twierdzenia teorii gier. Zna różne typy gier oraz ich zastosowania.	K_W08 K_W08
	Umiejętności: Potrafi opisać zadany problem w języku teorii gier. Proponuje rozwiązania poznanych typów gier.	K_U08 K_U08
	Kompetencje społeczne: Rozumie rolę matematyki w opisie zjawisk o charakterze losowym.	K_K02
16	Literatura obowiązkowa i zalecana	

	1. Ph. Straffin, Game Theory and Strategy, New Mathematical Library Washington 1993	
17	Metody weryfikacji zakładanych efektów uczenia się Ćwiczenia: Sprawdziany pisemne stanowiące bieżącą weryfikację opanowania zrealizowanych treści kształcenia i osiągnięcia poszczególnych efektów kształcenia. Wykład: Egzamin pisemny stanowiący końcową weryfikację efektów kształcenia.	
18	Warunki i forma zaliczenia poszczególnych komponentów przedmiotu/modułu Warunkiem zaliczenia przedmiotu jest: – uzyskanie co najmniej 50% punktów za zadania stanowiące bieżącą weryfikację efektów kształcenia (sprawdzian pisemny, aktywność na zajęciach, przygotowanie i przeprowadzenie prezentacji) – uzyskanie pozytywnej oceny z egzaminu stanowiącego końcową weryfikację efektów kształcenia Szczegółowe warunki zaliczenia przedmiotu określa prowadzący zajęcia w ciągu dwóch tygodni od rozpoczęcia zajęć.	
19	Nakład pracy studenta	
	forma realizacji zajęć przez studenta	liczba godzin przeznaczona na zrealizowanie danego rodzaju zajęć
	zajęcia (wg planu studiów) z prowadzącym: wykład ćwiczenia udział w egzaminie	30 godz. 30 godz. 2 godz.
	praca własna studenta (w tym udział w pracach grupowych) analiza i weryfikacja notatek z zajęć rozwiązywanie zadań z list czytanie literatury, wyszukiwanie informacji przygotowanie do sprawdzianu przygotowanie do egzaminu	10 godz. 20 godz. 5 godz. 30 godz. 30 godz.
	łączna liczba godzin	157
	Liczba punktów ECTS	6

1	Nazwa przedmiotu/modułu w języku polskim oraz angielskim Teoria wartości ekstremalnych Extreme value theory	
2	Dyscyplina matematyka	
3	Język wykładowy polski	
4	Jednostka prowadząca przedmiot Instytut Matematyczny	
5	Kod przedmiotu 28-MT-S-q22TWarEx	
6	Rodzaj przedmiotu Seminarium przeglądowe (Review seminar)	
7	Kierunek studiów Data Science	
8	Poziom studiów II stopień	
9	Rok studiów (jeśli obowiązuje) -	
10	Semestr zimowy	
11	Forma zajęć i liczba godzin seminarium – 30 godzin	
12	Wymagania wstępne w zakresie wiedzy, umiejętności i kompetencji społecznych dla przedmiotu Rachunek prawdopodobieństwa 1 (zalecane) Podstawy statystyki praktycznej Podstawy programowania w dowolnym języku	
13	Cele kształcenia dla przedmiotu Celem przedmiotu jest poznanie przez studenta najważniejszych pojęć i metod teorii wartości ekstremalnych oraz nabycie umiejętności samodzielnego zgłębiania, analizowania i prezentowania zaawansowanych zastosowań matematyki.	
14	Treści programowe 1. Funkcje wolno zmieniające się 2. Funkcje regularnie zmieniające się 3. Rozkłady max-stabilne 4. Obszary przyciągania 5. Uogólniony rozkład wartości ekstremalnych 6. Uogólniony rozkład Pareto 7. Metody estymacji 8. Estymator Hilla 9. Statystyka Greenwooda	
15	Zakładane efekty uczenia się	
	Wiedza: Zna i rozumie najważniejsze pojęcia, meodty i twierdzenia teorii wartości ekstremalnych.	K_W05, K_W07, K_W08
	Umiejętności: Samodzielnie zgłębia i analizuje literaturę i inne źródła. Potrafi przygotować i przeprowadzić prezentację, sprawnie poruszając się w obrębie omawianych zagadnień, w szczególności potrafi wyjaśniać wątpliwości i podejmować dyskusję inicjowaną przez słuchaczy.	K_U10, K_U12 K_U08, K_U10, K_U11

	Kompetencje społeczne: Zwraca szczególną uwagę na kompletność i poprawność rozumowań znajdujących w literaturze i innych źródłach. Jest otwarty na krytykę prezentowanych rozumowań.	K_K01, K_K02 K_K01, K_K02, K_03
16	Literatura obowiązkowa i zalecana [1] Arendarczyk, M., Kozubowski, T. J., Panorska, A. K. (2023) A Computational Approach to Confidence Intervals and Testing for Generalized Pareto Index Using the Greenwood Statistic. REVSTAT-Statistical Journal 21(3), 367–388. [2] Bingham, N.H., Goldie, C.M. and Teugels, J.L. (1987). Regular Variation. Cambridge: Cambridge Univ. Press. [3] Casella, G. and Berger, R.L. (2002). Statistical Inference, 2nd ed., Duxbury Press/Thomson Learning, Pacific Grove. [4] Embrechts, P., Klüppelberg, C., Mikosch, T. (1997). Modelling extremal events for insurance and finance. Berlin: Springer. [5] Leadbetter, M.R., Lindgren, G. and Rootzén, H. (1983) Extremes and Related Properties of Random Sequences and Processes. Springer, Berlin. [6] Resnick, S.I. (1987) Extreme Values, Regular Variation, and Point Processes. Springer, New York.	
17	Metody weryfikacji zakładanych efektów uczenia się Przygotowanie i przeprowadzenie prezentacji na wybrany temat.	
18	Warunki i forma zaliczenia poszczególnych komponentów przedmiotu/modułu Przygotowanie i przeprowadzenie prezentacji na wybrany temat, ocenianej pod kątem poprawności merytorycznej, komunikatywności przekazu i umiejętności odpowiedzi na pytania studentów i prowadzącego dotyczące prezentowanego zagadnienia oraz obecność i aktywność na zajęciach.	
19	Nakład pracy studenta	
	forma realizacji zajęć przez studenta	liczba godzin przeznaczona na zrealizowanie danego rodzaju zajęć
	zajęcia (wg planu studiów) z prowadzącym: seminarium	30 godz.
	praca własna studenta (w tym udział w pracach grupowych) czytanie literatury, wyszukiwanie informacji opracowanie prezentacji	15 godz. 15 godz.
	łączna liczba godzin	60
	Liczba punktów ECTS	2

1	Nazwa przedmiotu/modułu w języku polskim oraz angielskim Theoretical foundations of the analysis of large data sets Theoretical foundations of the analysis of large data sets	
2	Dyscyplina matematyka	
3	Język wykładowy angielski	
4	Jednostka prowadząca przedmiot Instytut Matematyczny	
5	Kod przedmiotu 28-MT-S-tThFANLDataa	
6	Rodzaj przedmiotu Podstawowy przedmiot kierunkowy do wyboru (Core elective course)	
7	Kierunek studiów Data Science	
8	Poziom studiów II stopień	
9	Rok studiów (jeśli obowiązuje) -	
10	Semestr winter	
11	Forma zajęć i liczba godzin wykład – 30 godzin, laboratorium – 30 godzin	
12	Wymagania wstępne w zakresie wiedzy, umiejętności i kompetencji społecznych dla przedmiotu Rachunek prawdopodobieństwa 1 (Probability 1) Statystyka (Statistics)	
13	Cele kształcenia dla przedmiotu The course objective is to familiarize students with basic problems, methods of the analysis of large data sets and their restrictions and to learn basic methods of multiple testing and multidimensional vectors estimation.	
14	Treści programowe 1. Theoretical introduction to testing single null hypothesis 2. Theoretical introduction to p-value 3. Application to testing that the mean of a Gaussian vector is null 4. Theoretical introduction to multiple testing procedures 5. Multiple testing procedures controlling the Family Wise Error Rate (FWER) 6. Multiple testing procedures controlling the False Discovery Ratio (FDR) 7. Model selection derived from Cp criterium.	
15	Zakładane efekty uczenia się	
	Wiedza: The student understands the problem of multiple testing. The student understands the connection between controlling the rate of false discoveries and minimizing the prediction error. The student understands the restrictions on the minimum detectable signal.	K_W01, K_W02, K_W06, K_W07, K_W08 K_W01, K_W02, K_W06, K_W08 K_W01, K_W02, K_W06, K_W08
	Umiejętności: The student can plan and implement computer simulations. The student can implement various statistical methods presented during the course. The students can choose the statistical method appropriate for the purpose of the analysis.	K_U01, K_U02, K_U03, K_U05, K_U06, K_U07, K_U08 K_U01, K_U02, K_U03, K_U05, K_U06, K_U07, K_U08 K_U01, K_U02, K_U03, K_U07, K_U08

	Kompetencje społeczne: The student understand the role and importance of mathematics in the analysis of various data types.	K_K02
16	Literatura obowiązkowa i zalecana [1] The course of E.J.Candes, Theory of Statistics, available online [2] B. Efron, Large-Scale Inference, Empirical Bayes Methods for Estimation, Testing, and Prediction IMS Monographs, Cambridge 2012 [3] I. Johnstone, Gaussian estimation, Sequence and wavelet models, 2013	
17	Metody weryfikacji zakładanych efektów uczenia się Computer lab: Preparing individual reports and midterm exam. Lecture: Written exam.	
18	Warunki i forma zaliczenia poszczególnych komponentów przedmiotu/modułu In order to pass the course it is required to obtain a minimal specified number of points for the midterm exam and individual reports (cumulative) and a positive grade from the final exam. The detailed grading rules will be presented by the instructor before the end of the second week of the semester.	
19	Nakład pracy studenta	
	forma realizacji zajęć przez studenta	liczba godzin przeznaczona na zrealizowanie danego rodzaju zajęć
	zajęcia (wg planu studiów) z prowadzącym: wykład laboratorium udział w egzaminie	30 godz. 30 godz. 2 godz.
	praca własna studenta (w tym udział w pracach grupowych) analiza i weryfikacja notatek z zajęć czytanie literatury, wyszukiwanie informacji przygotowanie raportu z zajęć przygotowanie do sprawdzianu przygotowanie do egzaminu	15 godz. 15 godz. 30 godz. 20 godz. 15 godz.
	łącznie liczba godzin	157
	Liczba punktów ECTS	6

1	Nazwa przedmiotu/modułu w języku polskim oraz angielskim Wielowymiarowa analiza statystyczna Multidimensional statistical analysis	
2	Dyscyplina matematyka	
3	Język wykładowy polski	
4	Jednostka prowadząca przedmiot Instytut Matematyczny	
5	Kod przedmiotu 28-MT-S-tWielAnSt	
6	Rodzaj przedmiotu Przedmiot kierunkowy do wyboru (Elective course)	
7	Kierunek studiów Data Science	
8	Poziom studiów II stopień	
9	Rok studiów (jeśli obowiązuje) -	
10	Semestr letni	
11	Forma zajęć i liczba godzin wykład – 30 godzin, ćwiczenia – 30 godzin	
12	Wymagania wstępne w zakresie wiedzy, umiejętności i kompetencji społecznych dla przedmiotu Algebra liniowa 2 Rachunek prawdopodobieństwa 1 Statystyka	
13	Cele kształcenia dla przedmiotu Celem przedmiotu jest poznanie przez studentów wybranych pojęć i metod wielowymiarowej analizy statystycznej oraz nabycie umiejętności ich wykorzystywania do statystycznej analizy cech wielowymiarowych.	
14	Treści programowe I Podstawowe pojęcia wielowymiarowej analizy statystycznej 1. Pojęcia podstawowe: wektor losowy, rozkład łączny składowych wektora losowego, rozkłady warunkowe, macierz kowariancji. 2. Wielowymiarowy rozkład normalny i jego rozkłady brzegowe i warunkowe. 3. Współczynniki kowariancji resztowej, macierz kowariancji resztowej, współczynnik korelacji wielokrotnej, macierz współczynników korelacji wielokrotnej. 4. Rozkład Wisharta. II Wnioskowanie statystyczne 1. Rozkłady statystyk próbkowych (średniej, macierzy kowariancji, macierzy kowariancji resztowej) z wielowymiarowego rozkładu normalnego, rozkład Wisharta. 2. Jednoczesne wnioskowanie o współczynnikach regresji. 3. Wnioskowanie o macierzy korelacji. 4. Testy dotyczące średniej wielowymiarowego rozkładu normalnego, statystyka Hotellinga. 5. Jednoczesne wnioskowanie o wartościach oczekiwanych w wielu populacjach. 6. Zagadnienie dwóch prób. III Metoda redukcji wymiaru danych 1. Składowe główne wielowymiarowych obserwacji. 2. Geometryczna interpretacja składowych głównych. 3. Wyznaczanie składowych głównych.	
15	Zakładane efekty uczenia się	
	Wiedza:	

	Zna i rozumie podstawowe pojęcia, metody i twierdzenia wielowymiarowej analizy statystycznej. Zna metody testowania hipotez dotyczących jednocześnie średnich w wielu populacjach.	K_W01, K_W06, K_W08 K_W01, K_W06, K_W08
	Umiejętności: Analizuje dane wielowymiarowe. Testuje hipotezy dotyczące jednocześnie średnich w wielu populacjach.	K_U02, K_U08 K_U02, K_U08
	Kompetencje społeczne: Jest świadom roli i znaczenia matematyki w opisie zjawisk o charakterze losowym.	K_K02
16	Literatura obowiązkowa i zalecana [1] D. F. Morrison, Wielowymiarowa Analiza Statystyczna, Warszawa 1990 [2] E. W. Anderson, An Introduction to Multivariate Statistical Analysis, Wiley, New York 1984	
17	Metody weryfikacji zakładanych efektów uczenia się Ćwiczenia: Sprawdzian pisemny stanowiący bieżącą weryfikację opanowania zrealizowanych treści kształcenia i osiągnięcia poszczególnych efektów kształcenia. Wykład: Egzamin pisemny stanowiący końcową weryfikację efektów kształcenia.	
18	Warunki i forma zaliczenia poszczególnych komponentów przedmiotu/modułu Warunkiem zaliczenia przedmiotu jest: – uzyskanie 50% punktów za zadania stanowiące bieżącą weryfikację efektów kształcenia (sprawdzian pisemny) – uzyskanie 50% punktów z egzaminu stanowiącego końcową weryfikację efektów kształcenia Szczegółowe warunki zaliczenia przedmiotu określa prowadzący zajęcia w ciągu dwóch tygodni od rozpoczęcia zajęć.	
19	Nakład pracy studenta	
	forma realizacji zajęć przez studenta	liczba godzin przeznaczona na zrealizowanie danego rodzaju zajęć
	zajęcia (wg planu studiów) z prowadzącym: wykład ćwiczenia udział w egzaminie	30 godz. 30 godz. 3 godz.
	praca własna studenta (w tym udział w pracach grupowych) analiza i weryfikacja notatek z zajęć rozwiązywanie zadań z list czytanie literatury, wyszukiwanie informacji przygotowanie do sprawdzianu przygotowanie do egzaminu	10 godz. 30 godz. 10 godz. 30 godz. 30 godz.
	Łączna liczba godzin	173
	Liczba punktów ECTS	6

1	Nazwa przedmiotu/modułu w języku polskim oraz angielskim Wnioskowanie statystyczne Statistical inference	
2	Dyscyplina matematyka	
3	Język wykładowy polski	
4	Jednostka prowadząca przedmiot Instytut Matematyczny	
5	Kod przedmiotu 28-MT-S-tWnStat	
6	Rodzaj przedmiotu Przedmiot kierunkowy do wyboru (Elective course)	
7	Kierunek studiów Data Science	
8	Poziom studiów II stopień	
9	Rok studiów (jeśli obowiązuje) -	
10	Semestr zimowy	
11	Forma zajęć i liczba godzin wykład – 30 godzin, ćwiczenia – 30 godzin	
12	Wymagania wstępne w zakresie wiedzy, umiejętności i kompetencji społecznych dla przedmiotu Statystyka	
13	Cele kształcenia dla przedmiotu Celem przedmiotu jest poznanie przez studentów zaawansowanych pojęć i narzędzi statystyki matematycznej. Przedmiot koncentruje się wokół estymacji bayesowskiej i minimaksowej, a swym zakresem obejmuje również szerokie spektrum problemów teorii testowania hipotez statystycznych.	
14	Treści programowe I Teoria Testowania Hipotez Statystycznych 1. Podstawowe pojęcia. 2. Testy jednostajnie najmocniejsze. Lemat Neymana-Pearsona. Twierdzenie Karłina-Rubina. 3. Testy nieobciążone. Testy w parametrycznym modelu normalnym. 4. Testy oparte na ilorazie wiarygodności. 5. Testy zgodności. Test chi-kwadrat Pearsona. Test Kołmogorowa-Smirnova. Test Cramera-von Misesa. Test Andersona-Darlinga. 6. Problem dwóch prób. Test Kołmogorowa-Smirnova. Test Cramera-von Misesa. Test Andersona-Darlinga. 7. Testowanie normalności. Test Bowmana-Shentona. Test Kołmogorowa-Smirnova z poprawką Lillieforsa. Test Shapiro-Wilka. Test oparty na odległości Wassersteina. II Teoria Statystycznych Funkcji Decyzyjnych 1. Niezrandomizowane, zrandomizowane i behawiorystyczne reguły decyzyjne. 2. Optymalne reguły decyzyjne. Zasada nieobciążoności. Zasada niezmienniczości. Zasada Bayesa. Zasada Minimaksu. 3. Dopuszczalność reguł decyzyjnych i klasy zupełne. 4. Statystyki dostateczne w teorii statystycznych funkcji decyzyjnych. III Teoria Estymacji 1. Estymacja bayesowska. 2. Estymacja minimaksowa.	
15	Zakładane efekty uczenia się	
	Wiedza: Zna i rozumie podstawowe pojęcia teorii testowania hipotez statystycznych. Zna i rozumie podstawowe metody testowania hipotez statystycznych.	K_W01, K_W06, K_W08 K_W01, K_W06, K_W08

	Zna i rozumie metody estymacji bayesowskiej.	K_W01, K_W06, K_W08
	Umiejętności: Konstruuje test jednostajnie najmocniejszy. Wyznacza estymator bayesowski i jego ryzyko. Dobiera optymalne rozwiązanie w analizowanym problemie.	K_U08 K_U08 K_U08
	Kompetencje społeczne: Jest świadom roli i znaczenia matematyki w opisie zjawisk o charakterze losowym.	K_K02
16	Literatura obowiązkowa i zalecana [1] J. Bartoszewicz, Wykłady ze statystyki matematycznej, PWN, Warszawa 1996 [2] T. S. Ferguson, Mathematical Statistics - A Decision Theoretic Approach, Academic Press, 1969	
17	Metody weryfikacji zakładanych efektów uczenia się Ćwiczenia: Dwa sprawdziany pisemne stanowiące bieżącą weryfikację opanowania zrealizowanych treści kształcenia i osiągnięcia poszczególnych efektów kształcenia. Wykład: Egzamin pisemny stanowiący końcową weryfikację efektów kształcenia.	
18	Warunki i forma zaliczenia poszczególnych komponentów przedmiotu/modułu Warunkiem zaliczenia przedmiotu jest uzyskanie minimum punktowego (50%) za zadania stanowiące bieżącą weryfikację efektów kształcenia (sprawdziany pisemne) oraz uzyskanie pozytywnej oceny z egzaminu będącego końcową weryfikacją efektów kształcenia. Szczegółowe warunki zaliczenia przedmiotu określa prowadzący zajęcia w ciągu dwóch tygodni od rozpoczęcia zajęć.	
19	Nakład pracy studenta	
	forma realizacji zajęć przez studenta	liczba godzin przeznaczona na zrealizowanie danego rodzaju zajęć
	zajęcia (wg planu studiów) z prowadzącym: wykład ćwiczenia udział w egzaminie	30 godz. 30 godz. 3 godz.
	praca własna studenta (w tym udział w pracach grupowych) analiza i weryfikacja notatek z zajęć rozwiązywanie zadań z list czytanie literatury, wyszukiwanie informacji przygotowanie do sprawdzianu przygotowanie do egzaminu	10 godz. 30 godz. 10 godz. 30 godz. 25 godz.
	Łączna liczba godzin	168
	Liczba punktów ECTS	6

1	Nazwa przedmiotu/modułu w języku polskim oraz angielskim Wprowadzenie do R Introduction to R	
2	Dyscyplina matematyka	
3	Język wykładowy polski	
4	Jednostka prowadząca przedmiot Instytut Matematyczny	
5	Kod przedmiotu 28-MT-S-LR	
6	Rodzaj przedmiotu Przedmiot kierunkowy do wyboru (Elective course)	
7	Kierunek studiów Data Science	
8	Poziom studiów II stopień	
9	Rok studiów (jeśli obowiązuje) -	
10	Semestr zimowy lub letni	
11	Forma zajęć i liczba godzin laboratorium – 30 godzin	
12	Wymagania wstępne w zakresie wiedzy, umiejętności i kompetencji społecznych dla przedmiotu Algebra liniowa 1	
13	Cele kształcenia dla przedmiotu Celem przedmiotu jest poznanie przez studenta środowiska R w takim zakresie, w jakim jego znajomość jest przydatna na zajęciach z przedmiotów probabilistycznych i statystycznych prowadzonych z wykorzystaniem tego środowiska. Nabyte kompetencje pozwalają także na dalsze samokształcenie w celu szerszego opanowania środowiska R.	
14	Treści programowe 1. Podstawowe elementy języka R: zmienne, instrukcje warunkowe, pętle, funkcje. 2. Funkcje używane zamiast pętli. 3. Praca z plikami. 4. Pakiet graficzny graphics. 5. Pakiet graficzny lattice. 6. Podstawy pakietu graficznego ggplot2. 7. Generowanie raportów za pomocą knitr. 8. Przykłady zaawansowanych metod statystycznych zaimplementowanych w R jako ilustracja dalszych możliwych kierunków poznawania R.	
15	Zakładane efekty uczenia się	
	Wiedza: Zna podstawowe konstrukcje i polecenia środowiska R.	K_W08
	Umiejętności: Wykonuje w R obliczenia służące do ilościowego zaprezentowania zbioru danych. Wykonuje w R proste wykresy służące do zaprezentowania zbioru danych, troszcząc się o ich estetykę i przejrzystość. Generuje w R raport z wynikami własnych obliczeń i wykresami.	K_U06 K_U06 K_U06
	Kompetencje społeczne:	

16	Literatura obowiązkowa i zalecana 1. P. Biecek, Przewodnik po pakiecie R, Oficyna Wydawnicza GiS Wrocław 2017 lub wcześniejsze wydania	
17	Metody weryfikacji zakładanych efektów uczenia się Zadania domowe, sprawdziany oraz obserwacja studentów w trakcie zajęć.	
18	Warunki i forma zaliczenia poszczególnych komponentów przedmiotu/modułu Warunkiem zaliczenia przedmiotu jest uzyskanie minimum punktowego za zadania stanowiące bieżącą weryfikację efektów kształcenia (sprawdziany pisemne i zadania domowe). Szczegółowe warunki zaliczenia przedmiotu określa prowadzący zajęcia w ciągu dwóch tygodni od rozpoczęcia zajęć.	
19	Nakład pracy studenta	
	forma realizacji zajęć przez studenta	liczba godzin przeznaczona na zrealizowanie danego rodzaju zajęć
	zajęcia (wg planu studiów) z prowadzącym: laboratorium	30 godz.
	praca własna studenta (w tym udział w pracach grupowych) analiza i weryfikacja notatek z zajęć czytanie literatury, wyszukiwanie informacji wykonanie zadania domowego przygotowanie do sprawdzianu	5 godz. 5 godz. 10 godz. 10 godz.
	Łączna liczba godzin	60
	Liczba punktów ECTS	2

1	Nazwa przedmiotu/modułu w języku polskim oraz angielskim Wprowadzenie do symulacji i metod Monte Carlo Introduction to simulation and Monte Carlo methods
2	Dyscyplina matematyka
3	Język wykładowy polski
4	Jednostka prowadząca przedmiot Instytut Matematyczny
5	Kod przedmiotu 28-MT-S-tWDSymMMC
6	Rodzaj przedmiotu Podstawowy przedmiot kierunkowy do wyboru (Core elective course)
7	Kierunek studiów Data Science
8	Poziom studiów II stopień
9	Rok studiów (jeśli obowiązuje) -
10	Semestr zimowy
11	Forma zajęć i liczba godzin wykład – 30 godzin, ćwiczenia – 15 godzin, laboratorium – 15 godzin
12	Wymagania wstępne w zakresie wiedzy, umiejętności i kompetencji społecznych dla przedmiotu Rachunek prawdopodobieństwa 1
13	Cele kształcenia dla przedmiotu Celem przedmiotu jest: a) zapoznanie się z podstawowymi technikami dotyczącymi symulacji zmiennych losowych; b) zrozumienie rozróżnienia między generatorem liczb losowych a generatorem liczb pseudolosowych; c) opanowanie planowania i implementacji podstawowych technik symulacji, poznanie podstawowych algorytmów do symulacji pewnych klas procesów; d) zapoznanie się z zastosowaniami łańcuchów Markowa w symulacjach.
14	Treści programowe I. Wstęp 1. Liczby losowe i pseudolosowe. 2. Generatory liczb pseudolosowych. 3. Obliczanie całek metodami Monte Carlo. 4. Informacje o metodach quasi Monte Carlo. II. Teoria generatorów 1. Formalna definicja ciągu liczb losowych; liczby pseudolosowe 2. Losowe permutacje. Tasowanie kart. 3. Generatory liczb pseudolosowych (PRNG): LCG, GLCG, QCG, MT19937, generatory kryptograficzne (RC4). 4. Testy statystyczne PRNG: test Kołmogorowa-Smirnowa, test chi-kwadrat, testy oparte na schemacie „kul i urn”, testy oparte na błędzeniu losowym, testy permutacyjne, p-wartości i "second-level testing". III. Generowanie zmiennych losowych. 1. Metoda odwracania dystrybucji (algorytm ITM): rozkład wykładniczy, rozkład Pareto, rozkłady lekko i ciężko-ogonowe. 2. Algorytm ITM-d i ITR dla rozkładów kratowych; rozkład dwumianowy, rozkład Poissona 3. Metoda eliminacji: symulacja $N(0, 1)$ metodą eliminacji, symulacja rozkładu gamma. 4. Symulacja wektora normalnego: metoda Boxa-Mullera. IV. Monte Carlo: analiza wyników symulacji – niezależne replikacje 1. Oszacowanie I, które można zapisać jako wartość oczekiwaną pewnej zmiennej losowej poprzez symulację niezależnych replikacji.

	2. Estymacja nieobciążona. Przedział ufności, błąd bezwzględny i względny, podstawowy wzór na błąd $b = 1,96\sigma/\sqrt{n}$ 3. Obliczanie całek metodami Monte Carlo. 4. "Surowa" metoda Monte Carlo (CMC). 5. Przypadki jedno- i wielowymiarowe. V. Techniki redukcji wariancji 1. Próbkowanie warstwowe 2. Metoda zmiennych antytetycznych 3. Wspólne liczby losowe 4. Zmienne kontrolne 5. Warunkowa metoda Monte Carlo 6. Losowanie istotnościowe 7. Przykłady redukcji wariancji dla problemów w finansach i naukach aktuarialnych VI. Łańcuchy Markowa i metody Markov chain Monte Carlo (MCMC) 1. Krótkie wprowadzenie do łańcuchów Markowa 2. Analiza błędów metodą CMC 3. Wprowadzenie do metod Monte Carlo Markov Chain (MCMC) 4. Algorytmy Gibbsa i Metropolisa. Model Isinga. Zastosowania do „odzyskiwania” uszkodzonych (w konkretny, znany sposób) obrazów oraz do łamania szyfrów podstawieniowych.	
15	Zakładane efekty uczenia się	
	Wiedza: Zna i rozumie podstawowe algorytmy do symulacji zmiennych losowych. Zna i rozumie podstawowe algorytmy do symulacji wybranych procesów stochastycznych. Rozumie koncepcje związane z zastosowaniem łańcuchów Markowa w symulacjach.	K_W01, K_W06, K_W08 K_W01, K_W06, K_W08 K_W01, K_W06, K_W08
	Umiejętności: Ocenia i dobiera stosowne algorytmy do symulacji różnych zmiennych losowych. Rozumie pojęcie "jakości" symulacji zmiennej losowej (tzn. koncepcje analizy błędu). Diagnostuje i rozwiązuje problemy przy pomocy niezależnych replikacji zmiennej losowej. Rozumie potrzebę zastosowania łańcuchów Markowa w wybranych obszarach. Umiejętnie stosuje techniki redukcji wariancji.	K_U08, K_U12 K_U08, K_U12 K_U08, K_U12 K_U08, K_U12 K_U08, K_U12
	Kompetencje społeczne: Jest świadom roli i znaczenia matematyki w opisie zjawisk o charakterze losowym.	K_K02
16	Literatura obowiązkowa i zalecana [1] T. Rolski, Symulacje Stochastyczne i Metoda Monte Carlo, 2016 [2] N. Madras, Lectures on Monte Carlo Methods, AMS 2002 [3] O. Häggström, Finite Markov chains and algorithmic applications, Cambridge University Press, 2002	
17	Metody weryfikacji zakładanych efektów uczenia się Ćwiczenia: Sprawdzian pisemny oraz obserwacja aktywności w trakcie zajęć stanowiące bieżącą weryfikację efektów kształcenia. Wykład: Egzamin pisemny stanowiący końcową weryfikację efektów kształcenia.	
18	Warunki i forma zaliczenia poszczególnych komponentów przedmiotu/modułu Warunkiem zaliczenia przedmiotu jest:	

	– uzyskanie co najmniej 50% punktów za zadania stanowiące bieżącą weryfikację efektów kształcenia (sprawdzian pisemny, aktywność na zajęciach, przygotowanie raportów) – uzyskanie pozytywnej oceny z egzaminu stanowiącego końcową weryfikację efektów kształcenia Szczegółowe warunki zaliczenia przedmiotu określa prowadzący zajęcia w ciągu dwóch tygodni od rozpoczęcia zajęć.	
19	Nakład pracy studenta	
	forma realizacji zajęć przez studenta	liczba godzin przeznaczona na zrealizowanie danego rodzaju zajęć
	zajęcia (wg planu studiów) z prowadzącym: wykład ćwiczenia laboratorium udział w egzaminie	30 godz. 15 godz. 15 godz. 2 godz.
	praca własna studenta (w tym udział w pracach grupowych) analiza i weryfikacja notatek z zajęć rozwiązywanie zadań z list czytanie literatury, wyszukiwanie informacji opracowanie projektu przygotowanie raportu z zajęć przygotowanie do sprawdzianu przygotowanie do egzaminu	10 godz. 20 godz. 5 godz. 20 godz. 20 godz. 10 godz. 15 godz.
	Łączna liczba godzin	162
	Liczba punktów ECTS	6

1	Nazwa przedmiotu/modułu w języku polskim oraz angielskim Wstęp do procesów stochastycznych Introduction to stochastic processes	
2	Dyscyplina matematyka	
3	Język wykładowy polski	
4	Jednostka prowadząca przedmiot Instytut Matematyczny	
5	Kod przedmiotu 28-MT-S-TWProcStoch	
6	Rodzaj przedmiotu Przedmiot kierunkowy do wyboru (Elective course)	
7	Kierunek studiów Data Science	
8	Poziom studiów II stopień	
9	Rok studiów (jeśli obowiązuje) -	
10	Semestr zimowy	
11	Forma zajęć i liczba godzin wykład – 30 godzin, ćwiczenia – 30 godzin	
12	Wymagania wstępne w zakresie wiedzy, umiejętności i kompetencji społecznych dla przedmiotu Rachunek prawdopodobieństwa 2R	
13	Cele kształcenia dla przedmiotu Celem przedmiotu jest poznanie przez studentów najważniejszych klas procesów stochastycznych, ich własności oraz zastosowań w modelowaniu stochastycznym.	
14	Treści programowe Wykład poświęcony jest przeglądowi najważniejszych klas procesów stochastycznych, ich własności oraz zastosowaniom w modelowaniu stochastycznym. W szczególności wprowadzone oraz omówione zostaną własności: - łańcuchów Markowa; - procesów Markowa w czasie ciągłym; - martyngałów; - procesów Lévy'ego; - procesów gaussowskich, ze szczególnym uwzględnieniem procesu Wienera oraz ułamkowych ruchów Browna.	
15	Zakładane efekty uczenia się	
	Wiedza: Zna najważniejsze klasy procesów stochastycznych oraz ich własności. Zna i rozumie zastosowania różnych klas procesów stochastycznych.	K_W08 K_W06, K_W08
	Umiejętności: Potrafi opisać zadany problem przy pomocy procesów stochastycznych. Potrafi weryfikować najważniejsze własności różnych klas procesów stochastycznych.	K_U08, K_U12 K_U08
	Kompetencje społeczne: Jest świadom roli i znaczenia matematyki w opisie zjawisk o charakterze losowym.	K_K02
16	Literatura obowiązkowa i zalecana	

	[1] Dębicki, Krzysztof, and Michel Mandjes. Queues and Lévy fluctuation theory. Springer, 2015. [2] Norris, James R. Markov chains. Cambridge University Press, 1998. [3] Resnick, Sidney I. Adventures in stochastic processes. Springer Science & Business Media, 2013. [4] Ross, Sheldon M. Introduction to probability models. Academic Press, 2014.	
17	Metody weryfikacji zakładanych efektów uczenia się Ćwiczenia: Sprawdziany pisemne stanowiące bieżącą weryfikację opanowania zrealizowanych treści kształcenia i osiągnięcia poszczególnych efektów kształcenia. Wykład: Egzamin pisemny stanowiący końcową weryfikację efektów kształcenia.	
18	Warunki i forma zaliczenia poszczególnych komponentów przedmiotu/modułu Warunkiem zaliczenia przedmiotu jest: – uzyskanie 50% punktów za zadania stanowiące bieżącą weryfikację efektów kształcenia (sprawdzian pisemny) – uzyskanie 50% punktów z egzaminu stanowiącego końcową weryfikację efektów kształcenia Szczegółowe warunki zaliczenia przedmiotu określa prowadzący zajęcia w ciągu dwóch tygodni od rozpoczęcia zajęć.	
19	Nakład pracy studenta	
	forma realizacji zajęć przez studenta	liczba godzin przeznaczona na zrealizowanie danego rodzaju zajęć
	zajęcia (wg planu studiów) z prowadzącym: wykład ćwiczenia udział w egzaminie	30 godz. 30 godz. 2 godz.
	praca własna studenta (w tym udział w pracach grupowych) analiza i weryfikacja notatek z zajęć rozwiązywanie zadań z list czytanie literatury, wyszukiwanie informacji przygotowanie do sprawdzianu przygotowanie do egzaminu	15 godz. 25 godz. 10 godz. 20 godz. 25 godz.
	Łączna liczba godzin	157
	Liczba punktów ECTS	6

1	Nazwa przedmiotu/modułu w języku polskim oraz angielskim Zaawansowane modele liniowe Advanced linear models	
2	Dyscyplina matematyka	
3	Język wykładowy polski	
4	Jednostka prowadząca przedmiot Instytut Matematyczny	
5	Kod przedmiotu 28-MT-S-tZModLin	
6	Rodzaj przedmiotu Podstawowy przedmiot kierunkowy do wyboru (Core elective course)	
7	Kierunek studiów Data Science	
8	Poziom studiów II stopień	
9	Rok studiów (jeśli obowiązuje) -	
10	Semestr letni	
11	Forma zajęć i liczba godzin wykład – 30 godzin, laboratorium – 30 godzin	
12	Wymagania wstępne w zakresie wiedzy, umiejętności i kompetencji społecznych dla przedmiotu Modele liniowe Statystyka	
13	Cele kształcenia dla przedmiotu Celem przedmiotu jest poznanie przez studentów uogólnionych modeli liniowych i regresji nieparametrycznej oraz teoretycznych podstaw wnioskowania w tych modelach, a także nabycie umiejętności praktycznej analizy danych przy użyciu uogólnionych modeli liniowych i prezentowania uzyskanych wyników.	
14	Treści programowe 1. Regresja logistyczna. 2. Regresja Poissona 3. Regresja ujemna dwumianowa 4. Uogólnione modele liniowe. 5. Rozszerzenia regresji Poissona i ujemnej dwumianowej. 6. Dane zależne - pomiary wielokrotne. 7. Ogólny model liniowy. 8. Modele liniowe z efektami losowymi. 9. Regresja nieparametryczna.	
15	Zakładane efekty uczenia się	
	Wiedza: Rozumie uogólniony model liniowy. Rozumie problemy związane z analizą pomiarów powtarzanych w czasie. Zna podstawowe nieparametryczne metody estymacji losowych funkcji wielu zmiennych. Zna teoretyczne podstawy wnioskowania w uogólnionych modelach liniowych i regresji nieparametrycznej.	K_W01, K_W06, K_W08 K_W01, K_W06, K_W08 K_W01, K_W06, K_W08 K_W01, K_W06, K_W08
	Umiejętności: Potrafi wybrać odpowiedni uogólniony model i wyestymować jego parametry. Potrafi dopasować funkcję wiążącą zmienną objaśnianą ze zmiennymi objaśniającymi. Potrafi przełożyć wyniki statystyczne na wnioski naukowe.	K_U02, K_U08 K_U02, K_U08 K_U02, K_U08, K_U10

	Potrafi przygotować profesjonalny raport z analizy danych dla niespecjalistów.	K_U02, K_U08, K_U10, K_U11
	Kompetencje społeczne: Rozumie rolę i znaczenie matematyki w analizie różnego typu danych.	K_K02
16	Literatura obowiązkowa i zalecana 1 JJ Faraway, <u>Extending the Linear Models with R</u> , Chapman and Hall/CRC 2016	
17	Metody weryfikacji zakładanych efektów uczenia się Laboratorium: Przygotowanie indywidualnych raportów oraz sprawdzian pisemny stanowiące bieżącą weryfikację opanowania zrealizowanych treści kształcenia i osiągnięcia poszczególnych efektów kształcenia. Wykład: Egzamin pisemny stanowiący końcową weryfikację efektów kształcenia.	
18	Warunki i forma zaliczenia poszczególnych komponentów przedmiotu/modułu Warunkiem zaliczenia przedmiotu jest: – przygotowanie wszystkich wyznaczonych raportów, – uzyskanie minimum punktowego za zadania stanowiące bieżącą weryfikację efektów kształcenia (przygotowanie raportów, aktywność na zajęciach, sprawdzian pisemny) – uzyskanie pozytywnej oceny z egzaminu stanowiącego końcową weryfikację efektów kształcenia Szczegółowe warunki zaliczenia przedmiotu określa prowadzący zajęcia w ciągu dwóch tygodni od rozpoczęcia zajęć.	
19	Nakład pracy studenta	
	forma realizacji zajęć przez studenta	liczba godzin przeznaczona na zrealizowanie danego rodzaju zajęć
	zajęcia (wg planu studiów) z prowadzącym: wykład laboratorium udział w egzaminie	30 godz. 30 godz. 3 godz.
	praca własna studenta (w tym udział w pracach grupowych) analiza i weryfikacja notatek z zajęć czytanie literatury, wyszukiwanie informacji przygotowanie raportu z zajęć przygotowanie do sprawdzianu przygotowanie do egzaminu	15 godz. 5 godz. 30 godz. 20 godz. 25 godz.
	łączna liczba godzin	158
	Liczba punktów ECTS	6