Obraz zawierający Czcionka, logo, design, Grafika

Opis wygenerowany automatycznie

Uczenie maszynowe

Rekomendowany model systemowego kształcenia wysokiej klasy specjalistów ICT na studiach II stopnia dla kierunku Uczenie maszynowe opracowany w ramach projektu „Akademia Innowacyjnych Zastosowań Technologii Cyfrowych (AI Tech)” realizowanego w latach 2020-2023 przez Beneficjenta – Ministerstwo Cyfryzacji (wcześniej Kancelaria Prezesa Rady Ministrów) i pięciu Partnerów (Uniwersytet Warszawski, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Politechnika Gdańska, Politechnika Poznańska, Politechnika Wrocławska)

Autorzy:

2023

Spis treści

[Abstrakt 2](#_Toc151931062)

[Wprowadzenie 3](#_Toc151931063)

[Koncepcja modelu systemowego kształcenia 5](#_Toc151931064)

[Rekomendowany plan studiów 9](#_Toc151931065)

[Rekomendowany program studiów 11](#_Toc151931066)

[Rekomendacje w zakresie treści nauczania – sylabusy przedmiotów 14](#_Toc151931067)

[Rekomendacje w zakresie dodatkowych form kształcenia 23](#_Toc151931068)

[Staże i wizyty studyjne 23](#_Toc151931069)

[Współpraca krajowa, w tym ze środowiskiem biznesowym 25](#_Toc151931070)

[Współpraca międzynarodowa 26](#_Toc151931071)

[Projekty informatyczne 28](#_Toc151931072)

[Tutoring 29](#_Toc151931073)

[Materiały dydaktyczne 32](#_Toc151931074)

[Dodatkowe rekomendacje 34](#_Toc151931075)

[Podsumowanie 35](#_Toc151931076)

[Spis aneksów i załączników 37](#_Toc151931077)

# Abstrakt

W ramach projektu *AI Tech* Ministerstwo Cyfryzacji wraz z pięcioma uczelniami partnerskimi przygotowały modelowe programy kształcenia wysokiej klasy specjalistów ICT na studiach II stopnia. Niniejsze opracowanie bazuje na założeniach programowych Rady Programowej projektu oraz doświadczeniach Wydziału Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego oraz Wydziału Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej w zakresie kształcenia specjalistów uczenia maszynowego.

W oparciu o powstałe na wspomnianych dwóch uczelniach materiały opracowano rekomendowany modelowy system kształcenia, w skład którego wchodzą plany i programy studiów 3- i 4-semestralnych na kierunku Uczenie maszynowe, zestaw rekomendowanych sylabusów przedmiotów oraz rekomendacje dotyczące dodatkowych form kształcenia, takich jak projekty badawczo-rozwojowe, staże i wizyty studyjne, szkoły letnie, wyjazdy konferencyjne oraz wsparcie studentów w ramach programów tutoringowych i mentoringowych. Podano także rekomendacje dotyczące współpracy krajowej i międzynarodowej, również z otoczeniem społeczno-gospodarczym uczelni.

# Wprowadzenie

Na uczelniach w Polsce widoczny jest w ostatnich latach trend polegający na tworzeniu studiów II stopnia na kierunkach z obszaru analizy danych i sztucznej inteligencji. Powstały one m.in. na Politechnice Warszawskiej (kierunek Inżynieria i analiza danych (Data Science)), Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (kierunek Informatyka – Data Science), Uniwersytecie Wrocławskim (kierunek Data Science) czy Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu (kierunek Analiza danych). Opracowując program studiów, uczelnie polegały na własnym doświadczeniu, gdyż brak jest formalnych, systemowych wytycznych dotyczących studiów z tego obszaru.

Potrzeba kształcenia większej liczby specjalistów, w szczególności w obszarach sztucznej inteligencji, analizy danych i cyberbezpieczeństwa, jasno wynika z przekazu Komisji Europejskiej. W dokumencie *Digital Decade – the EU policy programme 2030* przedstawiono, że w 2022 roku udział specjalistów ICT na polskim rynku pracy wynosił 3,5%, czyli około 0,5 mln osób, tymczasem dla krajów UE wskaźnik ten wynosi 4,5% i jest to około 9 mln osób. Polska zajmuje 3. miejsce od końca wśród 28 krajów Europy. Aby zaspokoić potrzeby rynku pracy, europejski wskaźnik powinien wzrosnąć w okresie do 2030 roku do 11%, czyli osiągnąć 20 mln osób. Niepokojącym zjawiskiem jest coraz mniejsza liczba absolwentów kierunków studiów STEM (*Science, Technology, Engineering, Math*) w Polsce. Liczba studentów STEM w Polsce spada (w latach 2017–2022 odnotowano spadek udziału absolwentów kierunków STEM z 21% do 18% wszystkich kierunków), podczas gdy w UE rośnie. Aby zapobiec temu zjawisku uczelnie wyższe w kraju powinny włączyć się w działania mające na celu wykształcenie większej liczby specjalistów i przeciwdziałanie przedwczesnemu opuszczaniu studiów przez studentów (zjawisko *dropout*).

Unowocześnienie sposobu kształcenia studentów oraz powołanie nowych specjalności w zakresie sztucznej inteligencji, analizy danych i cyberbezpieczeństwa to jedne z koniecznych kroków wszystkich uczelni oferujących kształcenie informatyczne. Ministerstwo Cyfryzacji wyszło z inicjatywą realizacji, w ramach Programu Operacyjnego Polska Cyfrowa, projektu *Akademia Innowacyjnych Zastosowań Technologii Cyfrowych (AI Tech)* mającego na celu opracowanie modelu systemowego kształcenia specjalistów w zakresie sztucznej inteligencji, uczenia maszynowego oraz cyberbezpieczeństwa, który ma być modelem rekomendowanym dla ośrodków akademickich w kraju. W ramach projektu uczelnie partnerskie miały przygotować programy studiów z wybranych obszarów oraz zrealizować na ich podstawie cykl kształcenia na tych studiach.

Niniejsza koncepcja modelu systemowego kształcenia specjalistów w zakresie uczenia maszynowego powstała w oparciu o założenia programowe przygotowane przez Radę Programową projektu *AI Tech* oraz doświadczenia i materiały wypracowane przez Wydział Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego oraz Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej.

Wydział Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego przygotował system kształcenia na kierunku Machine Learning (Uczenie maszynowe). Są to   
4-semestralne studia II stopnia o profilu ogólnoakademickim, prowadzone w języku angielskim, w 100% przypisane do dyscypliny Informatyka. Łączna liczba punktów ECTS możliwych do uzyskania wynosi 120. Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej przygotował system kształcenia na nowej specjalności Uczenie maszynowe na kierunku Informatyka. Są to 3-semestralne studia II stopnia o profilu ogólnoakademickim, w 100% przypisane do dyscypliny Informatyka techniczna i telekomunikacja. Łączna liczba punktów ECTS możliwych do uzyskania wynosi 91.

Przedstawione poniżej rekomendacje wynikają z pogłębionej analizy programów, planów studiów, sylabusów przedmiotów, materiałów dydaktycznych oraz opisu dodatkowych form kształcenia udostępnionych przez uczelnie. W proponowanym modelu wykorzystane zostały przede wszystkim komponenty wspólne dla programów wymienionych wyżej kierunków, ale uwzględniono również szczególnie cenne elementy występujące tylko w jednym z nich. Wprowadzono także pewne zmiany mające na celu ułatwienie wdrożenia modelu w ośrodkach akademickich o niższym potencjale kadrowym i mniejszych możliwościach współpracy z otoczeniem społeczno-gospodarczym oraz zwiększenie dostępności kierunku dla absolwentów studiów I stopnia kierunków nieinformatycznych.

Uczelnie chcące wdrożyć opisany w niniejszym dokumencie model kształcenia na kierunku lub specjalności Uczenie maszynowe powinny traktować przygotowane materiały, a w szczególności plan i program studiów, jedynie jako rekomendacje i dostosować je do profilu, możliwości oraz przepisów prawa, wytycznych i zwyczajów obowiązujących w uczelni.

# Koncepcja modelu systemowego kształcenia

Przygotowana koncepcja w wersji bazowej odnosi się do 4-semestralnych studiów drugiego stopnia o profilu ogólnoakademickim na kierunku Uczenie maszynowe, ale opisano również sposób dostosowania jej do studiów 3-semestralnych. W przypadku tworzenia specjalności a nie kierunku Uczenie maszynowe uczelnia powinna ocenić które z przedmiotów kierunkowych są kluczowe i powinny być na danym kierunku realizowane oraz które z przedmiotów programu studiów opisanego w niniejszej koncepcji należy dołączyć do programu tworzonej specjalności.

Ze względu na specyfikę uczenia maszynowego studia na kierunku o tej nazwie zostały przypisane w 100% do dyscypliny Informatyka. Istnieje również możliwość przypisania ich do dyscypliny Informatyka techniczna i telekomunikacja.

Proponowanym językiem wykładowym jest język polski, ale jeżeli uczelnia posiada odpowiedni potencjał kadrowy, można rozważyć prowadzenie studiów w języku angielskim. Wybór języka polskiego jako wykładowego nie stanowi istotnej przeszkody w wykorzystaniu anglojęzycznych materiałów dydaktycznych przygotowanych w ramach projektu *AI Tech*. Prowadzenie wykładów w języku polskim przy jednoczesnym wspomaganiu się materiałami dydaktycznymi w języku angielskim jest często spotykaną praktyką akademicką, szczególnie na kierunkach związanych z IT. Rozwija to u studentów kompetencje porozumiewania się w języku obcym, zwłaszcza w zakresie słownictwa specjalistycznego. Takie podejście umożliwia również dotarcie z ofertą edukacyjną do studentów anglojęzycznych (np. odbywających studia na polskich uczelniach w ramach programu Erasmus+).

Proponowany program studiów zakłada, że osoba podejmująca naukę będzie się legitymować wiedzą i umiejętnościami z zakresu: algebry liniowej, analizy matematycznej, prawdopodobieństwa i statystyki, metod numerycznych, programowania, algorytmów i struktur danych oraz baz danych. Wymagania te są w stanie spełnić nie tylko absolwenci studiów informatycznych, ale również innych kierunków, takich jak np. Matematyka stosowana, Fizyka techniczna, Automatyka i robotyka czy wielu kierunków technicznych. Zakłada się również, że student umie się posługiwać przynajmniej jednym językiem obcym (zalecany angielski) na poziomie średniozaawansowanym (B2), co umożliwi mu korzystanie z obcojęzycznej literatury i materiałów dydaktycznych. Ustalenie szczegółowych zasad rekrutacji nie wchodzi w zakres opracowanego modelu kształcenia, gdyż powinny być one dostosowane do przepisów obowiązujących we wdrażającej go uczelni. Kandydaci mogą być przyjmowani na podstawie konkursu dyplomów, jednak w przypadku absolwentów studiów nieinformatycznych sugeruje się przeprowadzenie egzaminu wstępnego lub przynajmniej rozmowy kwalifikacyjnej sprawdzającej kompetencje kandydata.

Chcąc zwiększyć dostępność studiów na kierunku lub specjalności Uczenie maszynowe dla takich kandydatów oraz stworzyć możliwość wyrównania poziomu wiedzy i umiejętności studentów, na pierwszym semestrze studiów zaplanowano kursy wstępne z matematyki, podstaw uczenia maszynowego i podstaw programowania w języku Python.

Zakłada się, że absolwent kierunku Uczenie maszynowe będzie posiadał głęboką wiedzę teoretyczną oraz umiejętności w zakresie matematycznych podstaw uczenia maszynowego, zaawansowanych algorytmów uczenia maszynowego, w szczególności tych wykorzystujących głębokie sieci neuronowe, wybranych zastosowań uczenia maszynowego, zwłaszcza w przetwarzaniu i analizie obrazów oraz języka naturalnego. Będzie potrafił efektywnie pracować z danymi, pozyskiwać je, oceniać ich jakość i przydatność oraz przetwarzać je do postaci wymaganej przez wykorzystywane metody i algorytmy.

Absolwent ma być kreatywny, ma potrafić wykorzystywać zdobytą wiedzą i umiejętności do projektowania i rozwiązywania złożonych problemów naukowych i praktycznych. Ma także posiadać umiejętności programistyczne umożliwiające samodzielną implementację systemów rozwiązujących takie problemy.

Absolwent ma umieć pracować w zespole (również międzynarodowym i interdyscyplinarnym) realizującym projekty z zakresu uczenia maszynowego. Ma mieć podstawową wiedzę na temat przedsiębiorczości, znać ograniczenia prawne i etyczne związane z tematyką kierunku studiów. Ma umieć samodzielnie zdobywać wiedzę, śledzić nowe trendy związane z uczeniem maszynowym i być gotów do ciągłego doskonalenia swoich umiejętności.

Absolwent kierunku Uczenie maszynowe ma być gotów do podjęcia pracy w biznesie lub administracji publicznej na różnych stanowiskach związanych z projektowaniem i wykorzystywaniem rozwiązań uczenia maszynowego. Ma również być przygotowany do podjęcia własnej pracy naukowej lub badawczo-rozwojowej oraz do kontynuowania studiów w szkole doktorskiej.

Przygotowane plan i program studiów składają się z:

* obowiązkowych przedmiotów kierunkowych określających swego rodzaju minimum programowe na kierunku lub specjalności Uczenie maszynowe, wyróżnionych na podstawie założeń programowych przygotowanych przez Radę Programową projektu *AI Tech* oraz planów i programów studiów przygotowanych przez uczelnie partnerskie,
* przedmiotów do wyboru, podzielonych na grupy przedmiotów specjalistycznych i przedmiotów z zakresu zastosowań uczenia maszynowego, których lista jest zależna od specyfiki i możliwości uczelni,
* obowiązkowych przedmiotów z dziedziny nauk społecznych lub dziedziny nauk humanistycznych dających studentowi niezbędne kompetencje przede wszystkim z zakresu etyki, prawa i podstaw przedsiębiorczości,
* zespołowego projektu z uczenia maszynowego,
* przygotowania do pracy badawczo-rozwojowej i seminarium magisterskiego,
* przedmiotu ogólnouczelnianego.

Do programu studiów nie wpisano bezpośrednio kursu z zakresu bezpiecznych i higienicznych warunków kształcenia, wychodząc z założenia, że zorganizowanie takiego kursu jest, na podstawie odpowiednich przepisów prawa, obowiązkiem rektora i uczelnia ma wypracowane w tym zakresie standardowe procedury.

Więcej informacji dotyczących planu i programu studiów można znaleźć niżej w sekcjach *Rekomendowany plan studiów* i *Rekomendowany program studiów*.

Za istotną w kształceniu przyszłych specjalistów w zakresie uczenia maszynowego uznaje się pracę metodą projektową. Wyrazem tego jest przede wszystkim umieszczenie w programie studiów obowiązkowego przedmiotu *Projekt zespołowy z uczenia maszynowego*. Należy jednak zachęcać prowadzących zajęcia, żeby większość laboratoriów była prowadzona z wykorzystaniem tej metody, tj. żeby zaliczenie laboratoriów wymagało od studenta przygotowania jednego większego lub kilku mniejszych projektów zaliczeniowych. Studentów natomiast należy zachęcać do prowadzenia portfolio własnych projektów na GitHubie, gdyż coraz częściej jest to jedno z oczekiwań pracodawców od kandydatów do pracy.

Metody uczenia maszynowego są wykorzystywane w wielu innych dziedzinach nauki, mają też liczne zastosowania w gospodarce. Rekomendowany program studiów zakłada realizację dużej liczby przedmiotów do wyboru, z których część powinna mieć charakter interdyscyplinarny. Umożliwia to również w pewnym stopniu dopasowanie programu do indywidualnych zainteresowań studentów. Dodatkowo zakłada się, że student będzie miał możliwość napisania pracy magisterskiej o charakterze interdyscyplinarnym bądź związanej z praktycznymi zastosowaniami uczenia maszynowego. Należy to zapewnić przez odpowiedni dobór osób prowadzących seminaria magisterskie i tematów prac.

Zajęcia laboratoryjne powinny być prowadzone w oparciu o ogólnie dostępne, darmowe, otwartoźródłowe oprogramowanie. Podstawowym językiem programowania powinien być Python. Jest on aktualnie najczęściej wykorzystywany w zastosowaniach związanych z uczeniem maszynowym. Jego popularność jest związana z ogromną liczbą specjalistycznych pakietów i bibliotek przeznaczonych do przetwarzania i analizy danych oraz istnieniem bardzo aktywnej społeczności związanej z tym językiem i jego zastosowaniami, co ułatwia uzyskanie pomocy w rozwiązywaniu problemów. Dodatkowym powodem rekomendowania Pythona jest fakt, że większość materiałów dydaktycznych, które powstały w ramach projektu *AI Tech* została przygotowana właśnie w tym języku. Należy jednak zaznaczyć, że w przypadku, gdyby w przyszłości obowiązującym standardem stał się inny język programowania, treści programowe omawiane na zajęciach laboratoryjnych oraz materiały dydaktyczne powinny zostać odpowiednio zaktualizowane.

Uczelnia planująca wdrożenie kierunku Uczenie maszynowe powinna dysponować infrastrukturą, która umożliwi prowadzenie zajęć na odpowiednim poziomie. Laboratoria komputerowe powinny być wyposażone w nowoczesne komputery (najlepiej z wydajnymi kartami graficznymi), które pozwolą na efektywną pracę ze współczesnymi algorytmami uczenia maszynowego opartymi głównie na głębokich sieciach neuronowych. Zaleca się także udostepnienie studentom wydajnego serwera obliczeniowego, który umożliwi im pracę (również zdalną) nad własnymi projektami badawczymi.

Rekomenduje się uwzględnienie w systemie kształcenia na kierunku lub specjalności Uczenie maszynowe zapoznania studentów z rynkiem pracy i potrzebami gospodarki. Ze względu na różną specyfikę uczelni, ich lokalizację, różny poziom kontaktów z otoczeniem społeczno-gospodarczym i inne uwarunkowania w modelowym programie studiów forma tych zajęć nie została bezpośrednio narzucona. Można ją realizować poprzez obowiązkowe praktyki, nieobowiązkowe staże zawodowe lub wizyty studyjne. Więcej na ten temat napisano w sekcji *Rekomendacje w zakresie dodatkowych form kształcenia – Staże i wizyty studyjne*.

Uczelnie partnerskie wypracowały w ramach projektu *AI Tech* szereg dodatkowych nowatorskich form kształcenia, których zadaniem było m.in. zaangażowanie studentów w proces kształcenia, poszerzenie możliwości zdobywania wiedzy i umiejętności oraz przeciwdziałanie zjawisku rezygnowania ze studiów przed uzyskaniem dyplomu. Formy te nie zostały co prawda wpisane bezpośrednio w plan i program studiów, ale zostały uznane za istotne w procesie kształcenia i warte rekomendacji, a najważniejsze wskazówki dotyczące ich organizacji można znaleźć w sekcji *Rekomendacje w zakresie dodatkowych form kształcenia.*

Należy podkreślić, że wypracowane przez Uniwersytet Warszawski i Politechnikę Gdańską modele kształcenia na kierunku lub specjalności Uczenie maszynowe charakteryzują się dużą nowoczesnością i nowatorstwem, co przekłada się na efektywność kształcenia. Trzeba jednak mieć na uwadze, że organizacja na innych uczelniach studiów zgodnych z niniejszym modelem będzie wymagała uruchomienia dodatkowych środków finansowych na zabezpieczenie zasobów kadrowych i sprzętowych oraz organizację uzupełniających form kształcenia.

# Rekomendowany plan studiów

Plan studiów stanowi *Załącznik nr 1* do niniejszego dokumentu. Poniżej opisano jego główne założenia.

Proponowany plan studiów zakłada, że studia rozpoczynają się od trzech intensywnych kursów wprowadzających do matematyki, uczenia maszynowego oraz programowania w języku Python. Zajęcia z tych przedmiotów prowadzone są w dwóch pierwszych tygodniach studiów przed rozpoczęciem innych kierunkowych zajęć kursowych. W pierwszym semestrze studiów studenci realizują trzy takie obowiązkowe przedmioty kierunkowe: *Statystyczne uczenie maszynowe*, *Głębokie sieci neuronowe* oraz *Praktyczne aspekty pracy z danymi*. Zakłada się również, że w tym semestrze studenci będą uczestniczyć w kursie języka angielskiego oraz przedmiocie, na którym poznają społeczne i prawne aspekty uczenia maszynowego. Proponowany plan studiów zakłada, że seminarium dyplomowe rozpocznie się dopiero w drugim semestrze. Dzięki temu studenci będą mieli okazję lepiej poznać specyfikę uczelni oraz kierunku studiów i dokonać bardziej świadomego wyboru seminarium i opiekuna pracy dyplomowej. W planie pierwszego semestru znajduje się natomiast przedmiot *Przygotowanie do pracy badawczo-rozwojowej*, którego celem jest przygotowanie studentów do pracy badawczo-rozwojowej, w szczególności do pisania pracy magisterskiej i pracy nad projektami zespołowymi.

W planie drugiego semestru studiów umieszczone zostały trzy obowiązkowe przedmioty kierunkowe: *Uczenie ze wzmocnieniem*, *Przetwarzanie języka naturalnego* oraz *Przetwarzanie i analiza danych multimedialnych*, na których studenci poznają specjalistyczne metody uczenia maszynowego i ich praktyczne zastosowania. W drugim semestrze studiów rozpoczyna się *Seminarium magisterskie* oraz *Projekt zespołowy z uczenia maszynowego*. Poza tym w tym semestrze studenci powinni zrealizować pierwszy z przedmiotów do wyboru.

W planie trzeciego semestru znajdują się dwa obowiązkowe przedmioty kierunkowe: *Wyjaśnialne uczenie maszynowe* oraz *Uczenie maszynowe w dużej skali*. Poza tym studenci realizują dwa kolejne przedmioty obieralne oraz kontynuują seminarium magisterskie i kończą pracę nad projektami zespołowymi.

Ostatni semestr studiów przeznaczony jest głównie na przygotowanie pracy magisterskiej. Poza *Seminarium magisterskim* jedynym proponowanym przedmiotem obowiązkowym są *Podstawy przedsiębiorczości*. Oprócz tego w planie czwartego semestru znajdują się dwa przedmioty obieralne oraz przedmiot ogólnouczelniany.

W planie studiów przyjęto, że wszystkie przedmioty kierunkowe są realizowane w formie wykładu i laboratoriów. Jeżeli w uczelni występuje projekt jako forma zajęć i uczelnia uważa taką formę zajęć za adekwatną dla danego przedmiotu, może dokonać zmiany. W rekomendowanym planie studiów formę projektu mają tylko przedmioty *Projekt zespołowy z uczenia maszynowego 1* i *2*. Dla przedmiotów *Aspekty społeczne i prawne uczenia maszynowego*, *Przygotowanie do pracy badawczo-rozwojowej* oraz *Podstawy przedsiębiorczości* przewidziano konwersatorium jako proponowaną formę zajęć. Może ona jednak być zmieniona na ćwiczenia lub wykład, w zależności od zwyczajów przyjętych w uczelni.

Aby dostosować proponowany plan studiów do studiów 3-semestralnych, należy:

* przenieść przedmiot *Podstawy przedsiębiorczości* na 1. semestr studiów w miejsce *Języka angielskiego* i zrezygnować z uczenia tego języka jako osobnego przedmiotu,
* zrezygnować w semestrze 3. z jednego z przedmiotów do wyboru, a zwolnione w ten sposób 6 punktów ECTS przeznaczyć na przygotowanie pracy magisterskiej,
* zrezygnować z realizacji 4. semestru studiów, czyli w szczególności dwóch przedmiotów do wyboru, przedmiotu ogólnouniwersyteckiego i jednego semestru seminarium magisterskiego.

# Rekomendowany program studiów

Proponowany program modelowego kierunku studiów 4-semestralnych stanowi *Załącznik nr 2* do niniejszego dokumentu. W tym miejscu przedstawione zostaną jedynie jego główne aspekty.

W programie studiów podano konkretne nazwy przedmiotów, ale należy je traktować jedynie jako propozycje. Najważniejsze treści, które powinny zostać omówione w ramach tych przedmiotów, zostały umieszczone w dalszej części tego dokumentu (patrz sekcja *Rekomendacje w zakresie treści nauczania*). W niniejszej koncepcji programu studiów wskazano z nazwy przedmioty, które w oparciu o założenia programowe przygotowane przez Radę Programową projektu *AI Tech* oraz programy studiów przygotowane przez partnerskie uczelnie należy uznać za niezbędne minimum programowe na kierunku lub specjalności Uczenie maszynowe. Poza tym pozostawiono uczelniom swobodę w komponowaniu programu studiów, która wyraża się w dużej liczbie przedmiotów do wyboru (łącznie 5). Uczelnia może niektóre z przedmiotów oznaczonych jako do wyboru zastąpić własnym przedmiotem obowiązkowym, dbając jednak o to, by zachować wymagane 30% uzyskiwanych punktów ECTS z zajęć do wyboru.

Proponowany program studiów zakłada, że studia rozpoczynają się od trzech intensywnych kursów wprowadzających do matematyki, uczenia maszynowego oraz programowania w języku Python. Celem tych przedmiotów jest przypomnienie najważniejszych wiadomości ze studiów pierwszego stopnia, wyrównanie poziomu wiedzy i umiejętności absolwentów różnych kierunków studiów i różnych uczelni, a także przedstawienie słuchaczom wspólnego zestawu pojęć potrzebnych do zrozumienia współczesnych zaawansowanych metod uczenia maszynowego oraz wpojenie warsztatu potrzebnego do sprawnego posługiwania się nimi.

W programie studiów znajduje się zestaw kierunkowych przedmiotów obowiązkowych:

* *Praktyczne aspekty pracy z danymi,*
* *Statystyczne uczenie maszynowe*,
* *Głębokie sieci neuronowe,*
* *Uczenie ze wzmocnieniem*,
* *Przetwarzanie języka naturalnego,*
* *Przetwarzanie i analiza danych multimedialnych,*
* *Uczenie maszynowe w dużej skali*,
* *Wyjaśnialne uczenie maszynowe*.

Trzy pierwsze z nich powinny być zrealizowane w pierwszym semestrze studiów i stanowią bazę dla bardziej specjalistycznych zagadnień omawianych na dalszych etapach studiów. Cała grupa wymienionych przedmiotów pozwala studentom uzyskać kompetencje niezbędne w branży związanej z uczeniem maszynowym. Wszystkim z wymienionych przedmiotów poza *Praktycznymi aspektami pracy z danymi*, który ma 3 punkty ECTS, przypisano 6 punktów ECTS.

Kompetencje uzyskane w ramach obowiązkowych przedmiotów kierunkowych studenci mogą rozwijać zgodnie z własnymi potrzebami i zainteresowaniami w ramach przedmiotów do wyboru. Przedmiotów takich w programie studiów przewidziano pięć i co do zasady zostały ujęte jako przedmioty za 6 punktów ECTS realizowane w formie 30 godzin wykładu i 30 godzin laboratorium. Uczelnia może realizować je inaczej, np. w postaci dwóch przedmiotów za 3 punkty ECTS w formie 15 godzin wykładu i 15 godzin laboratorium. Zaleca się, aby przynajmniej dwa z tych przedmiotów były wybierane z listy przedmiotów specjalistycznych dla kierunku lub specjalności Uczenie maszynowe i przynajmniej dwa z listy zawierającej przedmioty o tematyce związanej z zastosowaniami uczenia maszynowego w innych dziedzinach wiedzy. Jeden z przedmiotów do wyboru z zakresu zastosowań uczenia maszynowego może być zastąpiony praktyką zawodową w przypadku, gdy uczelnia zakłada realizację takich praktyk w ramach programu studiów.

Oprócz przedmiotów kierunkowych za ważne w kształceniu specjalistów uczenia maszynowego zostały uznane przedmioty *Aspekty społeczne i prawne uczenia maszynowego* oraz *Podstawy przedsiębiorczości* i dlatego znalazły się one w programie studiów. Przedmiotom tym przypisano po 3 punkty ECTS, co oznacza, że zaliczając je, student może uzyskać obowiązkowe 5 punktów ECTS z dziedziny nauk społecznych lub humanistycznych.

*Seminarium magisterskie* trwa 3 semestry, ale jest poprzedzone przedmiotem *Przygotowanie do pracy badawczo-rozwojowej*. Jeżeli uczelnia uzna, że zasadne jest rozpoczęcie *Seminarium magisterskiego* wcześniej, już na pierwszym semestrze, i kontynuowanie go przez cztery semestry, to może zrezygnować z tego przedmiotu, o ile przewidziane dla niego treści programowe zostaną zrealizowane na *Seminarium magisterskim.*

Zakłada się również, że studenci będą uczestniczyć w 30-godzinnym kursie języka angielskiego, który pozwoli im uzyskać kompetencje posługiwania się językiem angielskim na poziomie B2+ Europejskiego Systemu Opisu Kształcenia Językowego, ze szczególnym uwzględnieniem terminologii używanej w uczeniu maszynowym. Uczelnia może zamienić kurs języka angielskiego na inny przedmiot prowadzony w tym języku, który pozwoli studentom uzyskać takie kompetencje.

Istotnym elementem programu studiów jest *Projekt zespołowy z uczenia maszynowego*. Powinien być on realizowany przez 2 semestry, a jego ważnym aspektem jest zespołowość pracy studentów. Więcej na temat organizacji tego przedmiotu można znaleźć niżej w sekcji *Rekomendacje w zakresie dodatkowych form kształcenia – Projekt informatyczny*.

W programie studiów przewidziano *Przedmiot ogólnouczelniany*, któremu przypisano 3 punkty ECTS. Jest to wyraz widocznej na uczelniach polskich tendencji do umożliwienia studentom poszerzenia wiedzy z obszaru kształcenia niezwiązanego ze studiowanym kierunkiem, a znajdującego się w sferze zainteresowań studenta. Ze względu na interdyscyplinarność uczenia maszynowego taka wiedza może być dla studenta cenna z punktu widzenia przyszłej pracy zawodowej. Jeżeli na uczelni taka oferta zajęć ogólnouczelnianych nie jest dostępna, można z tego przedmiotu zrezygnować i zastąpić go innym związanym z obszarem kształcenia.

Proponowany program studiów 4-semestralnych zakłada realizację 1110 godzin zajęć dydaktycznych przedmiotów, którym przypisano 120 punktów ECTS. Przeprowadzona analiza wewnętrznych aktów prawnych obowiązujących w uczelniach pokazała, że jest dość duża rozbieżność pomiędzy uczelniami, jeśli chodzi o liczbę godzin zajęć na studiach II stopnia. Waha się ona od ok. 200 do blisko 400 na semestr. Dlatego w przypadku niektórych uczelni nie da się wprowadzić programu studiów w proponowanej formie i konieczne będzie dostosowanie go do standardów obowiązujących w uczelni.

W proponowanym programie studiów liczba punktów ECTS przypisanych do przedmiotów zaliczanych do zajęć do wyboru wynosi 57, co stanowi 47% wszystkich możliwych do uzyskania punktów ECTS. Do przedmiotów tych zaliczane są:

* *Przedmioty do wyboru 1, 2, 3, 4, 5* – 30 punktów ECTS (po 6 punktów za każdy przedmiot),
* *Przedmiot ogólnouczelniany* – 3 punkty ECTS,
* *Seminarium magisterskie 1, 2, 3 i złożenie pracy* – 18 punktów ECTS,
* *Projekt zespołowy z uczenia maszynowego 1 i 2* – 6 punktów ECTS.

Określenie wymiaru punktów ECTS uzyskiwanych przez studentów z bezpośrednim udziałem nauczycieli akademickich lub innych osób prowadzących zajęcia należy do autonomicznej decyzji uczelni. Przyjmując roboczo, że 1 punkt ECTS odpowiada 25 godzinom pracy studenta, a do puli godzin realizowanych z bezpośrednim udziałem nauczycieli akademickich wlicza się wszystkie godziny zajęć dydaktycznych oraz dodatkowe godziny wspólnej pracy nauczyciela akademickiego i studenta (np. konsultacji, omówienia zadań, przeprowadzenia zaliczeń), ustalono, że w przypadku przedmiotów 60-godzinnych z przypisanych 6 punktów ECTS minimum 3 punkty będą liczone jako uzyskane z udziałem nauczycieli akademickich, a w przypadku przedmiotów 30-godzinnych z przypisanych 3 punktów ECTS minimum 2 punkty będą liczone jako uzyskane z udziałem nauczycieli akademickich. W przypadku przedmiotu *Seminarium magisterskie 3 i złożenie pracy* przyjęto, że minimum 4 punkty ECTS będą liczone jako uzyskane z udziałem nauczycieli akademickich. W ten sposób można otrzymać minimum 63 punkty ECTS (52,5%) jako uzyskane z udziałem nauczycieli akademickich.

Aby dostosować proponowany program studiów do studiów 3-semestralnych, należy dokonać wymienionych niżej modyfikacji.

* Zrezygnować z nauczania języka angielskiego jako osobnego przedmiotu. W celu osiągnięcia efektów uczenia się związanych z umiejętnością posługiwania się tym językiem na wymaganym poziomie należałoby rozważyć możliwość prowadzenia zajęć z innego przedmiotu w języku angielskim. Ze względu na swoją specyfikę dobrze będzie się do tego nadawać np. przedmiot *Przygotowanie do pracy badawczo-rozwojowej*, który z założenia jest prowadzony w formie konwersatorium.
* Ograniczyć liczbę przedmiotów do wyboru do dwóch: jednego z grupy przedmiotów specjalistycznych i jednego z grupy przedmiotów z zakresu zastosowań uczenia maszynowego.
* Skrócić *Seminarium magisterskie* z trzech do dwóch semestrów oraz zmniejszyć o 3 liczbę punktów ECTS za przygotowanie pracy magisterskiej. Ponieważ w proponowanym planie studiów dla studiów 3-semestralnych *Seminarium magisterskie* oraz przedmiot *Projekt zespołowy z uczenia maszynowego* będą kończyć się w ostatnim semestrze studiów, zmniejszenie liczby punktów ECTS za przygotowanie pracy magisterskiej, spowodowane redukcją liczby godzin pracy studenta nad jej przygotowaniem, może wynikać z wykorzystania efektów pracy nad projektem w pracy magisterskiej, co jest rekomendowane.

W proponowanym programie studiów 3-semestralnych liczba godzin zajęć dydaktycznych wynosi 840 i odpowiada 90 punktom ECTS, a liczba punktów ECTS przypisanych do przedmiotów zaliczanych do zajęć do wyboru wynosi 30, co stanowi 33% wszystkich możliwych do uzyskania punktów ECTS. Do przedmiotów tych zaliczane są:

* *Przedmioty do wyboru 1, 2* – 12 punktów ECTS (po 6 punktów za każdy przedmiot),
* *Seminarium magisterskie 1, 2 i złożenie pracy* – 12 punktów ECTS,
* *Projekt zespołowy z uczenia maszynowego 1 i 2* – 6 punktów ECTS.

Minimum 48 punktów ECTS (53,3%) może być uzyskanych z udziałem nauczycieli akademickich. Program studiów 3-semestralnych stanowi *Załącznik nr 3* do niniejszego dokumentu.

# Rekomendacje w zakresie treści nauczania – sylabusy przedmiotów

W poniższym opisie użyto następujących oznaczeń:

* w – wykład,
* ć – ćwiczenia,
* l – laboratoria,
* k – konwersatorium,
* p – projekt,
* s – seminarium,
* PG – przedmiot proponowany przez Politechnikę Gdańską,
* UW – przedmiot proponowany przez Uniwersytet Warszawski.

Po nazwie przedmiotu podano w nawiasie sugerowaną liczbę punktów ECTS oraz liczbę godzin i formę zajęć. Mogą one różnić się od tych, które były oryginalnie proponowane przez uczelnie i widnieją w przygotowanych przez nie sylabusach przedmiotów. Sylabusy rekomendowane do wykorzystania stanowią *Załącznik nr 4* do niniejszego dokumentu. Sylabusy wskazane jako przykładowe zostaną udostępnione przez Ministerstwo Cyfryzacji wraz z ośmioma programami studiów zrealizowanymi przez uczelnie partnerskie w ramach projektu *AI Tech*.

Semestr 1.

* ***Kurs wstępny – wprowadzenie do matematyki*** (3 ECTS, 15 w, 15 ć)

Celem przedmiotu jest wprowadzenie wspólnego zestawu pojęć matematycznych potrzebnych do zrozumienia współczesnych metod uczenia maszynowego. W szczególności należy tu przypomnieć i powtórzyć wybrane zagadnienia z algebry liniowej (operacje na macierzach, rozkłady macierzy), analizy matematycznej (pochodne funkcji jednej i wielu zmiennych) oraz rachunku prawdopodobieństwa i statystyki (zmienne losowe i ich charakterystyki, najważniejsze rozkłady prawdopodobieństwa).

Przykładem realizacji takiego przedmiotu jest *Obóz wstępny – wprowadzenie do matematyki* (UW).

Do wykorzystania rekomenduje się sylabus przedmiotu *Obóz wstępny – wprowadzenie do matematyki* (UW).

* ***Kurs wstępny – wprowadzenie do uczenia maszynowego*** (2 ECTS, 10 w, 10 l)

Celem przedmiotu jest zapoznanie studentów z podstawowymi pojęciami i metodologią uczenia maszynowego. Studenci powinni poznać kolejne etapy pracy nad projektem (przygotowanie danych, analiza eksploracyjna, zbudowanie modelu, ocena i poprawa jego jakości, przedstawienie i interpretacja wyników). W ramach laboratorium studenci powinni poznać podstawowe narzędzia informatyczne wykorzystywane w uczeniu maszynowym. Po zajęciach studenci powinni być w stanie samodzielnie wykonać prosty projekt związany z uczeniem nadzorowanym.

Przykładem realizacji takiego przedmiotu jest *Obóz wstępny – wprowadzenie do uczenia maszynowego* (UW).

Do wykorzystania rekomenduje się sylabus przedmiotu *Obóz wstępny – wprowadzenie do uczenia maszynowego* (UW).

* ***Kurs wstępny – wprowadzenie do programowania w języku Python*** (1 ECTS, 10 l)

Celem przedmiotu jest zapoznanie studentów z podstawami pracy w języku Python (środowisko pracy, składnia, instrukcje, typy danych, funkcje, moduły). Efektem jego realizacji ma być zapewnienie studentom, którzy nie poznali wcześniej podstaw tego języka programowania, możliwości pozyskania niezbędnych umiejętności przed rozpoczęciem kierunkowych kursów z uczenia maszynowego.

Przedmiot ten opiera się na idei obozów wstępnych realizowanych na UW, ale jest rekomendowany dodatkowo.

Do wykorzystania rekomenduje się szkic sylabusa *Kurs wstępny – wprowadzenie do programowania w języku Python* zaproponowany przez autorów niniejszego modelu*.*

* ***Praktyczne aspekty pracy z danymi*** (3 ECTS, 15 w, 15 l)

Celem przedmiotu jest omówienie zagadnień związanych z praktycznymi aspektami trenowania algorytmów uczenia maszynowego. W szczególności powinny tu zostać omówione metody zbierania, przechowywania i wstępnego przetwarzania danych różnego typu (liczbowych, graficznych, tekstowych, dźwiękowych) wykorzystywanych w uczeniu algorytmów. Poza tym należy tu omówić problemy związane z uczeniem i testowaniem algorytmów uczenia oraz oceną ich jakości i wydajności.

Przykładem realizacji takiego przedmiotu jest *Zaawansowane przygotowanie danych w uczeniu maszynowym* (PG).

Do wykorzystania rekomenduje się sylabus przedmiotu *Zaawansowane przygotowanie danych w uczeniu maszynowym* (PG).

* ***Statystyczne uczenie maszynowe*** (6 ECTS, 30 w, 30 l)

Na tym przedmiocie studenci powinni zapoznać się z klasycznymi zagadnieniami i algorytmami uczenia maszynowego. W szczególności powinni poznać najważniejsze modele klasyfikacyjne i regresyjne, metody klasteryzacji, modele zespołowe oraz metody redukcji wymiaru. W ramach zajęć laboratoryjnych studenci powinni nauczyć się korzystać z wybranej nowoczesnej biblioteki algorytmów uczenia maszynowego.

Przykładami realizacji takiego przedmiotu są *Uczenie statystyczne* (UW), *Uczenie maszynowe* (PG) i *Metody sztucznej inteligencji* (PG).

Jako podstawę proponuje się przyjąć sylabus przedmiotu *Uczenie maszynowe* (PG) po uzupełnieniu w nim pola *Przykładowe zagadnienia/przykładowe pytania/realizowane zadania*. Należy jednak powiększyć liczbę godzin laboratorium z 15 do 30. Dodatkowo można pominąć zagadnienia związane z przygotowaniem danych do analizy oraz ze sztucznymi sieciami neuronowymi, gdyż pojawią się one na przedmiotach *Praktyczne aspekty pracy z danymi* oraz *Głębokie sieci neuronowe.* Zamiast tego w programie powinny się pojawić tematy związane z eksploracyjną analizą danych i elementy statystyki. Jako podstawę do realizacji tych zagadnień można przyjąć odpowiednie fragmenty sylabusa przedmiotu *Uczenie statystyczne* (UW)*.*

* ***Głębokie sieci neuronowe*** (6 ECTS, 30 w, 30 l)

Celem przedmiotu jest zapoznanie studentów z wykorzystywanymi współcześnie architekturami głębokich sieci neuronowych oraz metodami ich uczenia. W szczególności powinny tu zostać omówione sieci konwolucyjne, rekurencyjne oraz modele generatywne, a także ich przykładowe zastosowania związane z analizą obrazów i języka naturalnego. W ramach przedmiotu studenci powinni również nauczyć się posługiwać przynajmniej jedną nowoczesną biblioteką programistyczną stosowaną w uczeniu głębokim.

Przykładami realizacji takiego przedmiotu są *Głębokie sieci neuronowe* (UW) i *Uczenie głębokie* (PG).

Do wykorzystania rekomenduje się sylabus przedmiotu *Głębokie sieci neuronowe* (UW).

* ***Aspekty społeczne i prawne uczenia maszynowego*** (3 ECTS, 30 k)

Celem przedmiotu jest zapoznanie studentów z najważniejszymi społecznymi i prawnymi problemami związanymi z uczeniem i wykorzystaniem systemów decyzyjnych. W szczególności powinny tu zostać omówione kwestie prywatności, zasady pozyskiwania, przechowywania i wykorzystywania danych wrażliwych, ograniczenia prawne obowiązujące w dziedzinie uczenia maszynowego oraz zasady wykorzystywania własności intelektualnej.

Dopuszcza się, że przedmiot ten zostanie zrealizowany w innej formie niż konwersatorium, np. wykładu lub ćwiczeń. Możliwe jest także podzielenie go na dwa osobne przedmioty – jeden poświęcony aspektom społecznym, a drugi prawnym.

Przykładem realizacji takiego przedmiotu jest *Etyka w uczeniu maszynowym* (PG).

Do wykorzystania rekomenduje się sylabus przedmiotu *Etyka w uczeniu maszynowym (PG).*

* ***Przygotowanie do pracy badawczo-rozwojowej*** (3 ECTS, 30 k)

Celem tego przedmiotu jest zapoznanie studentów z najważniejszymi metodami stosowanymi w pracy nad projektami badawczo-rozwojowymi (przeglądem literatury, zbieraniem danych, opracowaniem i raportowaniem wyników badań). Przedmiot ten ma przygotować studentów do uczestnictwa w seminarium magisterskim i napisania pracy dyplomowej oraz do pracy nad projektami realizowanymi w ramach *Projektu zespołowego z uczenia maszynowego*.

Dopuszcza się, że przedmiot ten zostanie zrealizowany w innej formie niż konwersatorium, np. wykładu lub ćwiczeń, albo będzie to seminarium magisterskie, na którym zostaną zrealizowane treści wskazane powyżej.

Przykładem realizacji takiego przedmiotu jest *Praca dyplomowa magisterska I* (PG).

Do wykorzystania rekomenduje się sylabus przedmiotu *Praca dyplomowa magisterska I* (PG).

* ***Język angielski*** (3 ECTS, 30 ć)

Celem przedmiotu jest rozwijanie i doskonalenie kompetencji językowych z uwzględnieniem słownictwa specjalistycznego związanego z kierunkiem studiów. W szczególności studenci powinni doskonalić umiejętności związane z komunikowaniem się w środowisku akademickim i zawodowym, czytaniem ze zrozumieniem tekstów akademickich oraz technicznych, a także z pisaniem różnorodnych tekstów (formalnych maili, opisów projektów, raportów z analizy danych).

Przykładem realizacji takiego przedmiotu jest *Język angielski I* (PG).

Do wykorzystania rekomenduje się sylabus przedmiotu *Język angielski I* (PG). Sugeruje się zmianę tematyki omawianych tam specjalistycznych zagadnień z inżynierii biomedycznej na związane z uczeniem maszynowym.

Semestr 2.

* ***Uczenie ze wzmocnieniem* (6 ECTS, 30 w, 30 l)**

Celem przedmiotu jest zapoznanie studentów z nowoczesnymi technikami i algorytmami uczenia ze wzmocnieniem. W trakcie kursu powinny zostać omówione metody bezmodelowe (bazujące na gradiencie polityki, oparte na wartościach, metody typu aktor-krytyk), jak również metody z użyciem modelu i oparte o przeszukiwanie. W ramach przedmiotu studenci powinni również poznać metody uczenia ze wzmocnieniem z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych.

Przykładami realizacji takiego przedmiotu są *Uczenie ze wzmocnieniem* (UW) i *Sieci samouczące się* (PG).

Do wykorzystania rekomenduje się sylabus kursu *Uczenie ze wzmocnieniem* (UW).

* ***Przetwarzanie języka naturalnego* (6 ECTS, 30 w, 30 l)**

Na tym przedmiocie studenci zapoznają się z teorią, metodologią, narzędziami oraz zasobami niezbędnymi do efektywnego przetwarzania języka naturalnego. Podczas zajęć powinny zostać omówione zagadnienia z zakresu lingwistyki obliczeniowej, klasyfikacji tekstu, ekstrakcji informacji oraz zastosowania głębokich sieci neuronowych do tłumaczenia maszynowego i generowania języka naturalnego. Kurs powinien także zawierać narzędzia i tematy specyficzne dla języka angielskiego i polskiego.

Przykładami realizacji takiego przedmiotu są *Przetwarzanie języka naturalnego* (UW) i *Głębokie przetwarzanie tekstu i sygnału mowy* (PG)–w części poświęconej analizie tekstu oraz *Odkrywanie wiedzy i systemy rekomendacyjne* (PG) – w zakresie zagadnień związanych z analizą tekstu.

Do wykorzystania rekomenduje się sylabus kursu *Przetwarzanie języka naturalnego* (UW).

* ***Przetwarzanie i analiza danych multimedialnych* (6 ECTS, 30 w, 30 l)**

Celem przedmiotu jest zapoznanie studentów z architekturami głębokiego uczenia oraz przekazanie umiejętności implementacji, trenowania i debugowania sieci neuronowych zdolnych do rozpoznawania różnorodnych wariantów obiektów lub wzorców w danych multimedialnych. Kurs powinien omawiać przetwarzanie dźwięków, obrazów oraz filmów z uwzględnieniem pracy z danymi zaszumionymi.

Przykładami realizacji takiego przedmiotu są *Rozpoznawanie obrazów* (UW), omawiający powyższe zagadnienia w zakresie przetwarzania obrazów, i *Przetwarzanie multimediów w systemach decyzyjnych* (PG).

Jako bazę proponuje się wykorzystanie sylabusa z przedmiotu *Przetwarzanie multimediów w systemach decyzyjnych* (PG) po uzupełnieniu pola *Przykładowe zagadnienia/przykładowe pytania/realizowane zadania* o krótki opis typów zadań realizowanych na laboratoriach. Zaleca się jednakże zwiększenie liczby godzin wykładów z 15 do 30. Dodatkowe godziny wykładów powinny być poświęcone na dogłębne omówienie tematów z zakresu analizy obrazów zawartych w sylabusie kursu *Rozpoznawanie obrazów* (UW). Można również zdecydować się na pominięcie tematów dotyczących zastosowań w pojazdach autonomicznych.

* ***Przedmiot do wyboru* 1 (6 ECTS, 30 w, 30 l)**

**Opisany poniżej.**

* ***Projekt zespołowy z uczenia maszynowego 1* (3 ECTS, 30 p)**

Celem tego przedmiotu jest zespołowe zrealizowanie przez studentów obszernego projektu z dziedziny uczenia maszynowego. Projekty te mają na celu umożliwienie studentom praktycznego zastosowania zdobytej wiedzy i umiejętności w rozwiązywaniu rzeczywistych problemów, które mogą wystąpić podczas implementacji oraz oceny efektywności technik uczenia maszynowego.

Przykładami realizacji takiego przedmiotu są *Zespołowy projekt z uczenia maszynowego* (UW) i *Projekt badawczy I* i *II* (PG).

Do wykorzystania rekomenduje się sylabus kursu *Projekt badawczy I* (PG).

* ***Seminarium magisterskie 1* (3 ECTS, 30 s)**

Na seminariach magisterskich studenci pod okiem prowadzących referują wybrane zagadnienia z literatury przedmiotu. Wybierane wspólnie przez studentów i prowadzących seminarium tematy referatów mają ukierunkowywać studenta do napisania ciekawej i wartościowej pracy magisterskiej. Od studentów oczekuje się samodzielności w opracowywaniu zakresu tematu oraz w przygotowywaniu prezentacji.

Przykładami realizacji takiego przedmiotu są *Seminarium dyplomowe magisterskie* (PG) oraz *Seminaria magisterskie z zakresu uczenia maszynowego i sztucznej inteligencji* (UW).

Do wykorzystania rekomenduje się sylabus kursu *Seminarium dyplomowe magisterskie* (PG).

Semestr 3.

* Uczenie maszynowe w dużej skali (6 ECTS, 30 w, 30 l)

Celem zajęć jest zaprezentowanie technik i narzędzi służących do przetwarzania dużych zbiorów danych, znanych jako *Big Data*, wykorzystywanych w uczeniu maszynowym. W trakcie kursu uczestnicy powinni zapoznać się z kluczowymi metodami stosowanymi w tej dziedzinie, w tym z techniką *map-reduce*, modelem *Resilient Distributed Dataset*, przetwarzaniem strumieniowym oraz klastrowaniem. Ponadto kurs powinien umożliwić uczestnikom zapoznanie się z równoległymi i rozproszonymi wersjami klasycznych algorytmów uczenia maszynowego.

Przykładem realizacji takiego przedmiotu jest *Uczenie maszynowe w dużej skali* (UW).

Do wykorzystania rekomenduje się sylabus kursu *Uczenie maszynowe w dużej skali* (UW) po uzupełnieniu go o efekty uczenia się. Należy zwrócić uwagę, że jest on dostępnym jedynie w języku angielskim.

* Wyjaśnialne uczenie maszynowe (6 ECTS, 30 w, 30 l)

Celem kursu jest zaznajomienie studentów z celami, metodami i technikami stosowanymi do wyjaśniania złożonych modeli uczenia maszynowego. W trakcie zajęć powinny zostać omówione narzędzia umożliwiające analizę struktury modelu traktowanego jako ,,czarna skrzynka’’, a także narzędzia służące do analizy predykcji generowanych przez ten model.

Przykładami realizacji takiego przedmiotu są *Wyjaśnialne uczenie maszynowe* (UW) i *Etyka w uczeniu maszynowym* (PG)–w zakresie treści dotyczących wyjaśnialności modeli oraz *Przetwarzanie multimediów w systemach decyzyjnych* (PG) – w zakresie tematów poruszających kwestie interpretowalności modeli rozpoznających multimedia.

Do wykorzystania rekomenduje się sylabus kursu *Wyjaśnialne uczenie maszynowe* (UW) po uzupełnieniu go o efekty uczenia się, kryteria oceniania i formy zaliczenia przedmiotu.

* ***Przedmiot do wyboru* 2 (6 ECTS, 30 w, 30 l)**

**Opisany poniżej.**

* ***Przedmiot do wyboru* 3 (6 ECTS, 30 w, 30 l)**

**Opisany poniżej przedmiot z grupy zastosowań uczenia maszynowego. Ten przedmiot może być zastąpiony praktyką zawodową w przypadku, gdy uczelnia zakłada realizację takich praktyk w ramach programu studiów.**

* ***Projekt zespołowy z uczenia maszynowego 2* (3 ECTS, 30 p)**

Jak w semestrze 2.

* ***Seminarium magisterskie 2* (3 ECTS, 30 s)**

**Jak w semestrze 2.**

Semestr 4.

* ***Przedmiot do wyboru* 4 (6 ECTS, 30 w, 30 l)**

**Opisany poniżej.**

* ***Przedmiot do wyboru 5* (6 ECTS, 30 w, 30 l)**

**Opisany poniżej.**

* ***Podstawy przedsiębiorczości***(3 ECTS, 30 k)

Celem przedmiotu jest zapoznanie studentów z istotą przedsiębiorczości, jej uwarunkowaniami i wpływem na gospodarkę oraz przekazanie informacji dotyczących tworzenia podmiotów gospodarczych, w tym startupów. Przedmiot powinien wyposażyć studenta w niezbędną wiedzę oraz kompetencje z zakresu praktycznych aspektów uruchamiania własnej działalności gospodarczej i zarządzania jej rozwojem ze szczególnym uwzględnieniem specyfiki zawodowej dla kierunku kształcenia uczenie maszynowe.

Dopuszcza się, że przedmiot ten zostanie zrealizowany w innej formie niż konwersatorium, np. wykładu lub ćwiczeń.

Przykładem realizacji takiego przedmiotu jest *Idee i informatyka* (UW).

Do wykorzystania rekomenduje się sylabus przedmiotu *Idee i informatyka* (UW).

* ***Przedmiot ogólnouczelniany* (3 ECTS, 30 w)**

Dowolny przedmiot z obszaru kształcenia niezwiązanego ze studiowanym kierunkiem zgodny z zainteresowaniami studenta i poszerzający jego wiedzę ogólną.

* ***Seminarium magisterskie 3 i złożenie pracy* (12 ECTS, 30 s)**

**Jak w semestrze 2.**

***Grupy przedmiotów do wyboru***

Student w trakcie studiów realizuje pięć przedmiotów do wyboru.Zaleca się, aby przynajmniej dwa z tych przedmiotów były wybierane z listy przedmiotów specjalistycznych dla kierunku lub specjalności Uczenie maszynowe i przynajmniej dwa z listy zawierającej przedmioty o tematyce związanej z zastosowaniami uczenia maszynowego w innych dziedzinach wiedzy. Jeden z przedmiotów do wyboru z zakresu zastosowań uczenia maszynowego może być zastąpiony praktyką zawodową w przypadku, gdy uczelnia zakłada realizację takich praktyk w ramach programu studiów.

* ***Grupa przedmiotów specjalistycznych***

Przedmioty z tej grupy powinny być ściśle związane z kierunkiem studiów i zawierać treści, które pozwolą studentom na zdobycie wiedzy i umiejętności z zakresu zaawansowanych technik uczenia maszynowego.

Przykładami realizacji takich przedmiotów są: *Optymalizacja struktur i obliczeń w sieciach neuronowych* (PG), *Zaawansowane architektury sieci neuronowych* (PG), *Interaktywne uczenie maszynowe* (UW), *Chmura w uczeniu maszynowym* (UW), *Odkrywanie wiedzy i systemy rekomendacyjne* (PG).

* ***Grupa przedmiotów związanych z zastosowaniami uczenia maszynowego***

Przedmioty z tej grupy powinny zawierać treści związane z zastosowaniami metod i technik uczenia maszynowego w innych dziedzinach nauki, np. biologii, medycynie, finansach.

Przykładami realizacji takich przedmiotów są: *Uczenie maszynowe w badaniach Ziemi* (PG), *Wprowadzenie do bioinformatyki* (PG)*, Algorytmiczne i statystyczne aspekty sekwencjonowania DNA* (UW), *FinTech – Financial Technology* (UW), *Wstęp do biologii obliczeniowej* (UW), *Pozyskiwanie, gromadzenie i przetwarzanie danych biomedycznych* (PG), *Sterowanie robotami* (UW), *Interdyscyplinarny projekt zespołowy* (UW).

* ***Grupa ogólna***

Przedmioty z tej grupy nie muszą być ściśle związane z uczeniem maszynowym. Mogą być to dowolne przedmioty z listy oferowanej przez uczelnię. Student może je wykorzystać, aby poszerzyć swoją wiedzę z zakresu innej dziedziny, np. informatyki lub matematyki.

Przykładami realizacji takich przedmiotów są: *Systemy internetowe i rozproszone* (PG)*, Zarządzanie projektem* (PG), *Programowanie urządzeń brzegowych i mobilnych* (PG)*,* *Optymalizacja wypukła* (UW).

# Rekomendacje w zakresie dodatkowych form kształcenia

W ramach projektu *AI Tech* oprócz standardowych form kształcenia wprowadzono szereg innowacji, które miały na celu podnieść efektywność studiów. Znalazły się wśród nich realizowane przez studentów projekty badawczo-rozwojowe, metody indywidualnej pracy ze studentem, takie jak tutoring lub mentoring, udział studentów w konferencjach krajowych i międzynarodowych, praktyki, staże i wizyty studyjne, szkoły letnie oraz inne formy zachęcające studentów do dodatkowej aktywności. Wszystkie z proponowanych dodatkowych form kształcenia zostały uznane za wartościowe i warte polecenia. Poniżej przedstawiono rekomendacje dotyczące tych form.

## Staże i wizyty studyjne

Jednym z niezbędnych elementów kształcenia jest zapoznanie studentów z potrzebami gospodarki oraz funkcjonowaniem rynku pracy. W tym celu, projektując studia na kierunku lub specjalności Uczenie maszynowe, należy przewidzieć możliwość brania przez studentów udziału w przynajmniej jednej z form pozwalających na pozyskanie doświadczeń związanych z przyszłą pracą zawodową, tj. praktyk, staży zawodowych lub wizyt studyjnych. Każda z tych form wymaga, by uczelnia aktywnie prowadziła politykę współpracy z otoczeniem społeczno-gospodarczym.

**Praktyki.** Od uczelni zależy, czy zdecyduje się ona na wprowadzenie do programu studiów obowiązkowych praktyk. Jeśli tak, to powinny im zostać przypisane punkty ECTS (domyślnie 6) oraz liczba wymaganych godzin do zrealizowania (min. 160). Obowiązkowe praktyki mogą wówczas zastąpić jeden z przedmiotów do wyboru z zakresu zastosowań uczenia maszynowego wymienionych w rekomendowanym programie studiów. Uczelnie zazwyczaj organizują praktyki zgodnie z wewnętrznymi regulaminami praktyk na podstawie umów trójstronnych z pracodawcą oraz studentem i do nadzorowania ich realizacji mają powołanego opiekuna praktyk. Należy zwrócić uwagę na to, by zapewnić studentom możliwość realizacji praktyk w firmach, które mają uczenie maszynowe w profilu swojej działalności lub korzystają z metod uczenia maszynowego w celu rozwijania bądź wspierania swojej działalności. Uczelnia powinna także określić program takich praktyk. *Ustawą z dnia 1 grudnia 2022 r. o zmianie ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce oraz niektórych innych ustaw* w art. 67 dodano ust. 7., który umożliwia zaliczenie na poczet praktyki zawodowej czynności wykonywanych przez studenta w ramach m.in. zatrudnienia, stażu lub wolontariatu, jeżeli umożliwiły one uzyskanie efektów uczenia się określonych w programie studiów dla praktyk zawodowych. Obowiązkowe praktyki dla studentów były formą preferowaną przez Uniwersytet Warszawski. Przygotowany przez tę uczelnię regulamin praktyk (dokument *The rules of completing the internship during the second-cycle studies in Machine Learning*) (dostępny w *Załączniku nr 4* do niniejszego dokumentu) jest rekomendowany jako wzorcowy.

**Staże.** Drugą z rekomendowanych form są staże zawodowe. Co do zasady są one nieobowiązkowe, odbywają się na podstawie dwustronnej umowy pomiędzy firmą a studentem i wiążą z wynagrodzeniem dla studenta oraz dłuższym okresem zatrudnienia. Uczelnie (a zwłaszcza biura karier) prowadzą często wykaz tego typu staży i zdarza się, że częściowo je finansują ze środków pozyskanych np. z funduszy strukturalnych Unii Europejskiej. Umożliwiają także studentom indywidualizację programu kształcenia oraz zdobycie części punktów ECTS poprzez realizację stażu (staż może zastąpić obowiązkowe praktyki zawodowe lub jeden z przedmiotów, jeśli określone dla niego efekty uczenia mogą być uzyskane poprzez realizację stażu). Staż zawodowy realizowany w trakcie studiów może prowadzić do późniejszego zatrudnienia absolwenta studiów w danej firmie. Rekomenduje się uczelniom prowadzenie polityki pozyskiwania ofert staży oraz zachęcania studentów do ich odbywania. Studenci Uniwersytetu Warszawskiego uzyskiwali zaliczenie obowiązkowych praktyk zawodowych poprzez realizację tego typu staży. Trwały on od 1 do 6 miesięcy, przeważnie 3 miesiące.

**Wizyty studyjne.** Trzecią możliwą do realizacji formą są wizyty studyjne u pracodawców. W zależności od środków jakimi dysponuje uczelnia oraz lokalizacji uczelni i siedziby przedsiębiorstwa możliwe jest realizowanie tego typu wizyt w sposób stacjonarny lub zdalny. Wśród dobrych praktyk należy wymienić:

* powołanie zespołu koordynującego, którego zadaniem będzie przygotowanie listy pracodawców, u których wartościowe i możliwe jest zrealizowanie wizyty studyjnej, oraz zorganizowanie takiej wizyty,
* organizowanie wizyt co najmniej 3-dniowych z ustalonym planem obejmującym prezentację profilu firmy, zadań/projektów realizowanych w firmie, wymagań odnośnie do kandydatów do pracy oraz działaniami pozwalającymi na aktywizację studentów (wyzwania, zadania indywidualne itp.),
* wymóg zrealizowania przez studenta przynajmniej kilku wizyt studyjnych (na UW zgodnie z programem studiów oraz regulaminem praktyk student, który zamiast stażu w firmie chciałby realizować wizyty studyjne, musiałby odbyć minimum 2),
* stworzenie wewnętrznej procedury kwalifikacji studentów na wizyty studyjne uwzględniającej aktywność studentów (średnią ocen, obecność na zajęciach itp.), ale jednocześnie pozwalającą na objęcie tą formą wsparcia możliwie szerokiej grupy studentów (pierwszorazowy udział w wizycie studyjnej jako jedno z kryteriów naboru),
* wymaganie od studentów sprawozdania z odbytej wizyty studyjnej.

Wizyty studyjne były formą preferowaną przez Politechnikę Gdańską. Rekomenduje się organizację wizyt studyjnych, zwłaszcza w sytuacji, gdy uczelnia nie przewiduje w programie studiów obowiązkowych praktyk zawodowych.

## Współpraca krajowa, w tym ze środowiskiem biznesowym

Współpraca krajowa może być realizowana przez uczelnie zarówno ze środowiskiem naukowym jak i biznesowym, a jej głównym celem jest wymiana doświadczeń oraz transfer wiedzy. Jako główne formy takiej współpracy należy wymienić realizację projektów badawczo-rozwojowych, praktyki, staże, wizyty studyjne, konferencje krajowe, organizację szkół letnich i aktywność kół naukowych.

**Projekty badawczo-rozwojowe**. Projekty badawczo-rozwojowe realizowane przez studentów powinny odpowiadać na rzeczywiste potrzeby biznesu lub nauki. Dlatego uczelnia powinna pozyskiwać tematy takich projektów od otoczenia społeczno-gospodarczego lub naukowców ze swojej lub innych uczelni, którzy realizują badania wymagające stosowania technik uczenia maszynowego. Rekomendacje dotyczące projektów można znaleźć niżej w sekcji *Projekty informatyczne*.

**Praktyki, staże i wizyty studyjne.** Praktyki, staże i wizyty studyjne są jedną z najbardziej bezpośrednich form współpracy ze środowiskiem biznesowym. Ze względu na fakt, że mogą być one realizowane przez studentów w ich miejscu zamieszkania, są dobrym sposobem na rozszerzenie katalogu firm i instytucji, z którymi uczelnia może w przyszłości współpracować w innej formie. Rekomendacje dotyczące praktyk, staży i wizyt studyjnych można znaleźć wyżej w sekcji *Staże i wizyty studyjne*.

**Konferencje krajowe.** Udział studentów w konferencjach krajowych może być bardzo dobrą okazją do poznania krajowego środowiska badaczy i praktyków z dziedziny uczenia maszynowego. Studenci mogą w ten sposób nawiązać współpracę, zorientować się w tematyce rozwijanej przez różne ośrodki i poznać firmy działające w obszarze uczenia maszynowego. Konferencjom z uczenia maszynowego często towarzyszą targi pracy. Rekomendacje dotyczące zasad udziału studentów w konferencjach są takie same jak opisane niżej przy konferencjach międzynarodowych.

**Szkoły letnie.** Przez szkołę letnią rozumie się kilkudniowy kurs dla studentów organizowany najczęściej w czasie wolnym od zajęć dydaktycznych. Celem szkoły letniej ma być pogłębienie wiedzy i umiejętności studentów w zakresie zagadnień merytorycznych i praktycznych poprzez kontakt z wybitnymi przedstawicielami nauki i biznesu, ale także nawiązanie kontaktów naukowych i zawodowych.

W zakresie organizacji szkół letnich rekomenduje się:

* organizowanie szkół letnich we współpracy z innymi uczelniami, co pozwoli na nawiązanie kontaktów tak pomiędzy badaczami, jak i studentami,
* zapraszanie do wystąpienia przedstawicieli otoczenia społeczno-gospodarczego oraz cenionych nauczycieli akademickich z innych ośrodków, w tym zagranicznych,
* urozmaicenie form aktywności oferowanych w ramach szkoły letniej: wykłady, warsztaty, sesje networkingowe, wyzwania, realizacja krótkich projektów międzyuczelnianych, konkursy, hackathony itp.,
* nadzór uczelni nad programem szkół letnich, by te nie powielały treści oferowanych w ramach standardowego programu kształcenia,
* stworzenie studentom możliwości prezentowania wyników swojej pracy, w tym realizowanych na uczelniach projektów badawczo-rozwojowych, np. w czasie sesji plakatowych.

W ramach projektu *AI Tech* zorganizowano dwie szkoły letnie: w maju 2022 roku (<https://eti.pg.edu.pl/node/1322,> dostęp z dnia 28.10.2023) oraz czerwcu 2023 roku (<https://aitech.pwr.edu.pl/szkola_letnia,> dostęp z dnia 28.10.2023).

**Koła naukowe.** Koła naukowe są organizacjami studenckimi mającymi duży wpływ na aktywizację studentów. Oprócz projektów badawczych realizowanych zazwyczaj przez koła w katalogu ich działalności można znaleźć także panele dyskusyjne oraz spotkania z naukowcami z innych ośrodków bądź osobami pracującymi w danej branży. Spotkania takie bardzo często są otwarte dla całej społeczności akademickiej. Dla przykłady na UW działa Koło Naukowe Uczenia Maszynowego (<https://knum.mimuw.edu.pl/,> dostęp z dnia 28.10.2023). Rekomenduje się uczelniom wspieranie inicjatywy powstawania takich kół oraz ich późniejszej działalności.

## Współpraca międzynarodowa

Interdyscyplinarność uczenia maszynowego, globalny dostęp do jego technik i narzędzi oraz ich uniwersalność sprawiają, że interesariuszy studiów na tym kierunku należy rozpatrywać bardzo szeroko. Specjalistami z zakresu uczenia maszynowego mogą być zainteresowane firmy działające na rynku światowym. Łatwo jest także nawiązać współpracę naukową z ośrodkami zagranicznymi. Współpraca międzynarodowa może być realizowana w formie praktyk, staży, wizyt studyjnych, organizacji szkół letnich, wyjazdów konferencyjnych oraz innych form standardowo realizowanych przez uczelnie w ramach konsorcjów międzyuczelnianych oraz programów wymiany studenckiej.

**Zagraniczne praktyki, staże i wizyty studyjne.** Studenci mogą realizować praktyki lub staże zawodowe w firmach i instytucjach zagranicznych, a finansowanie można pozyskać np. z programu Erasmus+ (<https://erasmus-plus.ec.europa.eu/pl/opportunities/opportunities-for-individuals/students/traineeships-abroad-for-students>, <https://www.esn.pl/pl/news/jak-wyjecha%C4%87-na-praktyki-w-ramach-programu-erasmus,> dostęp z dnia 29.10.2023). Finansowaniem objęte są wyjazdy trwające od 2 do 12 miesięcy lub mobilność mieszana w formie wyjazdu trwającego od 5 do 30 dni oraz okresu praktyki wirtualnej (co w przypadku praktyk lub staży związanych z uczeniem maszynowym może się dobrze sprawdzać). Niektóre firmy i instytucje mogą dopuszczać realizację praktyk i staży zawodowych w formie całkowicie zdalnej – jest to popularne rozwiązanie w IT.

Także wizyty studyjne mogą być organizowane u partnerów zagranicznych z wykorzystaniem narzędzi komunikacji na odległość.

Rekomendacje dotyczące praktyk, staży i wizyt studyjnych można znaleźć wyżej w sekcji *Staże i wizyty studyjne*.

**Szkoły letnie o charakterze międzynarodowym.** Organizując szkołę letnią, uczelnia może rozważyć zaproszenie prelegentów z uczelni lub firm zagranicznych, w tym dużych firm prowadzących działalność globalną typu Facebook, Google, Microsoft, Yahoo Research, Amazon itp. W przypadku wysokich kosztów zaproszenia takiego prelegenta można zaplanować jego wystąpienie z wykorzystaniem narzędzi komunikacji na odległość. Rekomendacje dotyczące organizacji szkół letnich można znaleźć wyżej w sekcji *Współpraca krajowa, w tym ze środowiskiem biznesowym*.

**Konferencje międzynarodowe.** Za dobrą praktykę należy uznać umożliwienie studentom brania udziału w konferencjach międzynarodowych – może być to jednak zależne od możliwości finansowych uczelni bądź możliwości pozyskania środków zewnętrznych na finansowanie takich wyjazdów. Udział w konferencjach międzynarodowych pozwala studentom na zdobycie najbardziej aktualnej wiedzy o trendach obowiązujących w dziedzinie uczenia maszynowego. Daje również możliwość otwarcia się na współpracę międzynarodową i może być zachętą do podjęcia studiów doktoranckich. Może być także swego rodzaju odpowiedzią na potrzebę mobilności krótkoterminowych, które są dla studentów łatwiejszą do realizacji formą niż długoterminowe programy wymiany akademickiej.

Przy organizacji takich wyjazdów rekomenduje się:

* powołać na uczelni zespół koordynujący, którego zadaniem będzie przygotowanie listy wartościowych konferencji z zakresu uczenia maszynowego oraz oszacowanie kosztów udziału w konferencji (stosowane na PG),
* stworzyć wewnętrzną procedurę kwalifikacji studentów na wyjazdy konferencyjne uwzględniającą aktywność studentów (udział w pracach i projektach badawczo-rozwojowych, średnią ocen itp.), ale jednocześnie pozwalającą na objęcie tą formą wsparcia możliwie szerokiej grupy studentów (pierwszorazowy udział w konferencji jako jedno z kryteriów naboru),
* zachęcać studentów do aktywnego udziału w konferencji, tj. przygotowania wystąpienia lub plakatu, jeśli studentowi udało się już uzyskać wyniki naukowe pozwalające na prezentację ich na takim forum,
* wymagać od studentów przygotowania raportu z udziału w konferencji (stosowane na PG).

**Współpraca międzynarodowa w ramach konsorcjów.** Należy zwrócić uwagę na fakt, że obecnie wiele uczelni realizuje współpracę międzynarodową w ramach konsorcjów europejskich, np. UW w ramach sojuszu 4EU+, a PG w ramach Uniwersytetu Europejskiego ENHANCE. Daje to studentom możliwość m.in. uczestniczenia w zajęciach oferowanych przez uczelnie zagraniczne zrzeszone w konsorcjum oraz realizowania części studiów na innej uczelni.

Ciekawym przykładem współpracy, która jest możliwa w ramach tego typu porozumienia między uczelniami, jest przedmiot *Interdyscyplinarny projekt zespołowy* oferowany jako do wyboru na kierunku *Machine Learning* na UW, gdzie efekty zrealizowanych przez siebie projektów studenci prezentują na sympozjum zorganizowanym wspólnie z uczelniami zrzeszonymi w sojuszu. Współpracę taką można rozwinąć, realizując np. te same projekty na uczelniach zrzeszonych w sojuszu, a następnie prezentując na wspólnym forum ich rozwiązania, porównując je i dyskutując nad nimi.

Rekomenduje się wykorzystanie naturalnych możliwości płynących z funkcjonowania uczelni w konsorcjach europejskich przy organizacji szkół letnich, wizyt studyjnych i innych wydarzeń.

## Projekty informatyczne

W niniejszej koncepcji modelu systemowego kształcenia na kierunku lub specjalności Uczenie maszynowe projekty informatyczne są rozumiane szerzej – jako projekty badawczo-rozwojowe.

Celem projektu badawczo-rozwojowego jest realizacja przez studentów dużego przedsięwzięcia o charakterze naukowym lub wdrożeniowym z dziedziny uczenia maszynowego. Projekty te mają na celu umożliwienie studentom praktycznego zastosowania zdobytej wiedzy i umiejętności w rozwiązywaniu rzeczywistych problemów, implementacji oraz oceny efektywności technik uczenia maszynowego.

Tematyka projektu powinna być określona a sam projekt prowadzony we współpracy z otoczeniem społeczno-gospodarczym uczelni lub pracownikami uczelni prowadzącymi badania o charakterze interdyscyplinarnym, w których uczenie maszynowe odgrywa istotną rolę.

Wśród dobrych praktyk należy wymienić:

* stworzenie systemu zgłoszeń tematyki projektów, do którego tematy będą mogli dodawać pracownicy uczelni oraz podmioty z otoczenia społeczno-gospodarczego (system taki funkcjonuje na PG),
* powołanie koordynatora lub zespołu koordynującego realizację projektów, którego zadaniem będzie selekcja projektów do realizacji oraz czuwanie nad organizacją współpracy studentów z interesariuszami,
* ustanowienie opiekuna projektu ze strony zgłaszającego temat projektu, którego zadaniem będzie określenie problematyki projektu oraz ocena dostarczonych rozwiązań od strony zgłaszającego projekt,
* udzielanie studentom wsparcia merytorycznego podczas realizacji projektów przez doświadczonych pracowników wydziału (na PG było to zadanie mentora, który poświęcał na projekt co najmniej 30 godzin w semestrze).

Projekty powinny być realizowane przez 3–5-osobowe zespoły studenckie (PG), gdyż jednym z zadań tych projektów jest także kształcenie umiejętności pracy w grupie. Na realizację projektów powinno się przeznaczyć 2 semestry (UW, PG) i po 30 godzin zajęć dydaktycznych w każdym z nich. Projekt badawczo-rozwojowy jest na tyle ważną formą kształcenia, że powinien być ujęty w programie studiów i obowiązkowy dla każdego studenta (UW, PG). W niniejszej propozycji modelowego systemu kształcenia projektom badawczo-rozwojowym przypisano łącznie w dwóch semestrach 6 ECTS, co przekłada się na 150–180 godzin pracy każdego studenta nad projektem.

Należy stworzyć studentom możliwość prezentacji i dyskusji efektów projektów badawczo-rozwojowych. Podstawową formą prezentacji powinna być publiczna prezentacja na forum przynajmniej społeczności wydziału. W zależności od charakteru projektu oraz występowania ograniczeń, które mogą być narzucone przez zleceniodawcę projektu, można rozważyć także prezentację wyników projektu w formie publikacji naukowej lub zgłoszenia patentowego albo publikacji o charakterze popularnonaukowym (np. w mediach społecznościowych). Dla przykładu na PG zespół studencki musiał przygotować raport lub szkic artykułu naukowego oraz plakat podsumowujący projekt, po każdym semestrze zajęć następowała także publiczna prezentacja prac, na UW projekty powstałe w ramach przedmiotu *Interdyscyplinarny projekt naukowy* były prezentowane na forum uczelni zrzeszonych w międzynarodowym konsorcjum 4EU+.

Należy zwrócić uwagę na prawa autorskie i majątkowe studentów do rezultatów swojej pracy i w przypadku realizowania projektów we współpracy z otoczeniem społeczno-gospodarczym możliwie jasno określić zasady przekazania wyników pracy studentów już na samym początku takiej współpracy.

Oprócz obowiązkowego projektu badawczo-rozwojowego rekomenduje się włączać studentów do możliwie wielu projektów realizowanych na uczelni, w tym także grantów.

## Tutoring

Tutoring to zorganizowana zindywidualizowana praca, szczególnie z wybitnymi i zmagającymi się z trudnościami studentami (1:1, w małych grupach, rzadziej w większych grupach) w ramach programów/zajęć na uczelni (lub online), uwzględniająca różnorodność doświadczeń studentów, dyscyplin, umiejętności akademickich, specjalizacji, potrzeb, oczekiwań itp. i umożliwiająca studentom osiągnięcie celów akademickich i rozwojowych (definicja MNiSW na potrzeby projektu *Mistrzowie dydaktyki*).

Wśród celów prowadzenia tutoringu w uczelni wyższej za główny należy uznać przestawienie studenta z pasywnego na aktywnego odbiorcę usługi edukacyjnej, co prowadzi do zwiększenia efektów kształcenia oraz może przeciwdziałać zjawisku przedwczesnego opuszczania systemu kształcenia (rezygnacja ze studiów w trakcie ich trwania, tzw. zjawisko *drop-out* – <https://radon.nauka.gov.pl/analizy/dropout,> dostęp z dnia 27.10.2023). Tutoring może także ułatwić funkcjonowanie studentom z zagranicy, którzy muszą odnaleźć się w nowym dla nich środowisku.

Uczelniom, które mają odpowiednie możliwości kadrowe i finansowe, rekomenduje się objęcie tutoringiem wszystkich studentów. W przypadku braku takich możliwości wsparciem tego typu należy objąć przede wszystkim studentów, którzy wyrażą chęć przystąpienia do programu tutoringowego, zwłaszcza wybitnie uzdolnionych oraz zmagających się z trudnościami (w tym niepełnosprawnością).

Rekomendacje dotyczące organizacji tutoringu:

* tutoring należy traktować szeroko jako holistyczne wskazówki udzielane studentom przez pracowników akademickich w sprawach akademickich i osobistych, w tym informacji na temat procesów występujących w szkolnictwie wyższym, procedur i oczekiwań, informacji zwrotnych i rozwoju akademickiego oraz wsparcia opieki społecznej (Grey & Osborne, 2018) – jest to istotne, gdyż brak zainteresowania przedmiotem studiów oraz problemy osobiste są głównymi czynnikami indywidualnymi zdiagnozowanymi jako przyczyny rezygnacji ze studiów przed uzyskaniem dyplomu <https://radon.nauka.gov.pl/analizy/dropout,> dostęp z dnia 27.10.2023),
* w kontekście studiów na kierunku/specjalności Uczenie maszynowe do głównych zadań tutora związanych z rozwojem akademickim studenta należy sugerowanie przedmiotów obieralnych, lektur uzupełniających, konsultowanie tematyki projektu, pomoc w wyborze miejsca praktyki, miejsca stażu, wizyty studyjnej, tematyki publikacji, konferencji oraz inne konsultacje dotyczące naukowego i osobistego rozwoju studenta, w tym w zakresie możliwości wsparcia socjalnego i wsparcia rozwoju osobistego ze strony uczelni,
* za najbardziej efektywny uznaje się tutoring indywidualny (1:1) – taki był realizowany na UW i PG,
* student powinien mieć możliwość wyboru tutora – spośród osób wskazanych przez uczelnię lub także osób z zewnątrz, w tym dowolnie wskazanych przez studenta, zależnie od ustaleń wewnętrznych uczelni (na PG nauczyciel akademicki wskazany przez samego studenta lub zespół koordynujący projekt, na UW mogła to być dowolna osoba, ale musiała mieć akceptację kierownika studiów),
* student powinien mieć możliwość skorzystania z przynajmniej jednej godziny tutoringu w miesiącach październik–czerwiec, zgodnie z harmonogramem spotkań ustalonym z tutorem (na UW 12 godzin w roku akademickim, na PG 5 godzin w semestrze),
* po każdym spotkaniu student powinien sporządzić krótką notatkę z tego spotkania i przesłać ją tutorowi – służy to podkreśleniu odpowiedzialności studenta za proces tutoringu oraz pozwala obu stronom tego procesu (tutorowi i studentowi) kontrolować, czy w trakcie spotkania zostały dobrze zrozumiane (na UW wymagano raportów co najmniej raz na kwartał),
* tutoring powinien podlegać ewaluacji (na UW ankieta na koniec każdego semestru).

Rekomendacje dotyczące tutorów:

* tutorem powinien być nauczyciel akademicki lub inna osoba posiadająca wiedzę i doświadczenie związane z procesem kształcenia ekspertów z dziedziny uczenia maszynowego, która sprawnie komunikuje się, w szczególności ma umiejętność słuchania, zadawania pytań i aktywnego wyjaśniania,
* tutor powinien zostać przeszkolony w zakresie zadań oraz metod tutoringu, a także zakresu wsparcia socjalnego i wsparcia rozwoju osobistego studenta oferowanego przez uczelnię,
* tutor nie powinien mieć pod opieką więcej niż 5 studentów jednocześnie (UW),
* uczelnia powinna jasno sformułować zasady rozliczania pracy tutorów, w tym także zasady wynagradzania za tę pracę.

Wskazówki dotyczące realizacji procesu tutoringu w szkole wyższej uczelnie mogą znaleźć w publikacji J. Brdulak, J. Gotlib, R. Koziołek, J. Uriasz: *Model tutoringu* (2019) powstałej w ramach projektu MNiSW *Mistrzowie dydaktyki* (<https://www.gov.pl/attachment/8fd3a897-d990-4034-b216-b0f669d1e102,> dostęp z dnia 27.10.2023).

Jeśli możliwości uczelni na to pozwalają, studentom można również oferować wzięcie udziału w programie mentoringowym, który jest nastawiony na odkrywanie cech wewnętrznych, indywidualnych predyspozycji i celów życiowych studentów (Dr. Beverly J. Irby (2018) *Editor’s Overview: Differences and Similarities with Mentoring, Tutoring, and Coaching*, Mentoring & Tutoring: Partnership in Learning, 26:2, 115-121, <https://doi.org/10.1080/13611267.2018.1489237,> dostęp z dnia 27.10.2023). W projekcie *AI Tech* tak zdefiniowany program mentoringowy nie był prowadzony.

# Materiały dydaktyczne

Rekomenduje się prowadzenie studiów w oparciu o aktualne i rzetelnie przygotowane materiały dydaktyczne, zarówno pod względem treści, jak i formy. Dobrze, jeśli uczelnia ustali sugerowany wzorzec materiałów i dba o ich jednolitą postać. Kluczowa jest jednak weryfikacja merytoryczna, dlatego materiały dydaktyczne powinny być przygotowywane zespołowo. Dobrą praktyką jest powołanie zespołu koordynacyjnego i przygotowanie procedury zapewnienia aktualności, jakości i poprawności merytorycznej materiałów dydaktycznych, jak zostało to zrobione na Politechnice Gdańskiej.

Standardowo materiały do wykładów mają formę slajdów udostępnianych w formacie pdf lub pptx. Ich zawartość to głównie tekst, wzory, ilustracje, wykresy, tabele z danymi oraz osadzone elementy dynamiczne takie jak animacje czy filmy.

Sugeruje się, żeby materiały do zajęć laboratoryjnych miały postać interaktywnych notatników w formacie IPYNB (Interactive Python Notebook) dla języka Python oraz RMD (R Markdown) dla języka R. Są to zgodne ze współczesnymi standardami formaty wykorzystywane na wielu uczelniach na całym świecie. Ich zaletą jest możliwość łączenia atrakcyjnie wyglądającego tekstu zawierającego dodatkowe elementy (wzory, tabele, linki do źródeł zewnętrznych, grafikę a nawet animacje) z elementami interaktywnymi – specjalnymi komórkami, w które można wpisywać polecenia i programy w odpowiednim języku programowania. Kolejną zaletą interaktywnych notatników jest możliwość uruchamiania ich nie tylko na lokalnym komputerze, ale w zdalnym serwisie takim jak np. Google Colab. Serwisy takie zapewniają dostęp do wirtualnych maszyn o dużej mocy obliczeniowej, dzięki temu nawet studenci nieposiadający własnych szybkich komputerów mogą uruchamiać i testować zaawansowane algorytmy. Oprócz notatników jako materiały do laboratoriów można przygotować zadania i opisy projektów udostępniane w formacie docx lub pdf.

Zgodnie z opiniami kandydatów na studia (patrz *Raport Końcowy. Badanie potencjalnych kandydatów na studia projektu AI Tech, str. 25-26)* dobry kurs dydaktyczny powinien pozwalać na zdobywanie wiedzy we własnym tempie i w dogodnym czasie. Warunek ten spełniają materiały wideo, zwłaszcza nagrania wykładów. Warto rozważyć możliwość rozszerzenia materiałów dydaktycznych o materiały wideo (niekoniecznie specjalnie stworzone – można sporządzić listę wartościowych tutoriali ogólnodostępnych), zwłaszcza w przypadku realizacji studiów w formie on-line lub hybrydowej albo jako studiów niestacjonarnych.

Absolwenci kierunku lub specjalności Uczenie maszynowe powinni nabyć w czasie studiów umiejętność samodzielnego pozyskiwania wiedzy ze sprawdzonych źródeł oraz mieć świadomość uczenia się przez całe życie. Dlatego warto wykształcić u studentów nawyk korzystania z bieżących publikacji naukowych dostępnych m.in. w bibliotekach cyfrowych poprzez załączanie do materiałów dydaktycznych odnośników do takich właśnie publikacji.

Uniwersytet Warszawski oraz Politechnika Gdańska przygotowały pełne materiały dydaktyczne do prawie wszystkich z przedmiotów na prowadzonych przez siebie studiach z zakresu uczenia maszynowego. Rekomenduje się te materiały do wykorzystania przez inne uczelnie chcące prowadzić studia na analogicznym kierunku lub specjalności. Uzupełnienia wymagają materiały do przedmiotów:

* *Kurs wstępny z programowania w języku Python*, gdyż jest to rekomendacja nowego przedmiotu,
* *Praktyczne aspekty pracy z danymi* – w zakresie materiałów do laboratoriów,
* *Przetwarzanie języka naturalnego* – materiały obejmują nie wszystkie z rekomendowanych treści,
* *Podstawy przedsiębiorczości* – jest to nowy przedmiot oparty na przedmiocie *Idee i informatyka*, do którego brak jest materiałów,
* *Język angielski*.

# Dodatkowe rekomendacje

W uzupełnieniu do systemu kształcenia na kierunku lub specjalności Uczenie maszynowe wypracowanego przez uczelnie partnerskie można rozważyć wdrożenie opisanych niżej rekomendacji.

* Dodanie do oferty dydaktycznej przedmiotów prowadzonych przez praktyków z otoczenia społeczno-gospodarczego uczelni. Może to być przykładowo przedmiot do wyboru z grupy przedmiotów specjalistycznych lub z grupy przedmiotów z zakresu zastosowań uczenia maszynowego albo przedmiot w formie studium przypadku (*case studies*).
* Zachęcanie studentów do udziału w konkursach i hackathonach zewnętrznych. Umożliwienie studentom uzyskania zaliczenia z niektórych przedmiotów na podstawie rozwiązań uzyskanych w ramach udziału w tego typu wydarzeniach.
* Wprowadzenie dedykowanego systemu monitorowania oczekiwań studentów i pracodawców oraz modyfikacji programu studiów wraz ze zmianami tych oczekiwań oraz zmianami trendów i technologii w uczeniu maszynowym.

# Podsumowanie

Niniejsze opracowanie stanowi bazę systemu kształcenia na kierunku lub specjalności Uczenie maszynowe*.* Powstało ono w oparciu o efekty projektu *AI Tech*, w szczególności o założenia programowe opracowane przez Radę Programową projektu oraz materiały i doświadczenia wypracowane przez Wydział Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego oraz Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej.

Przedstawiona koncepcja została przygotowana dla 4-semestralnych studiów na kierunku Uczenie maszynowe z wariantem dla studiów 3-semestralnych oraz uwagami dotyczącymi możliwości stworzenia specjalności a nie kierunku studiów. Studia te są przypisane w 100% do dyscypliny Informatyka (ewentualnie Informatyka techniczna i telekomunikacja), co oznacza, że mogą być prowadzone przez uczelnie prowadzące studia na kierunku przypisanym do tej dyscypliny lub mające do tego uprawnienia.

W koncepcji kształcenia opisano wymagania stawiane kandydatom na studia oraz sylwetkę absolwenta. Przygotowano także plan i program studiów składające się z: obowiązkowych przedmiotów kierunkowych określających swego rodzaju minimum programowe na kierunku lub specjalności Uczenie maszynowe, przedmiotów do wyboru podzielonych na grupy przedmiotów specjalistycznych i przedmiotów z zakresu zastosowań uczenia maszynowego, obowiązkowych przedmiotów z dziedziny nauk społecznych lub dziedziny nauk humanistycznych, zespołowego projektu z uczenia maszynowego, przygotowania do pracy badawczo-rozwojowej i seminarium magisterskiego oraz przedmiotu ogólnouczelnianego.

Uczelnie chcące wdrożyć opisany w niniejszym dokumencie model kształcenia na kierunku lub specjalności Uczenie maszynowe powinny traktować przygotowane materiały, a w szczególności plan i program studiów, jedynie jako rekomendacje i dostosować je do swoich profilu i możliwości. Powinny jednak mieć na uwadze specyfikę tych studiów, która pociąga za sobą wysokie wymagania kadrowe i sprzętowe. Oznacza to, że uczelnia powinna dbać o pozyskiwanie, utrzymanie i rozwój kadry badawczo-dydaktycznej prowadzącej zajęcia na tym kierunku lub specjalności a także pozyskiwać środki na dobre wyposażenie laboratoriów komputerowych oraz wydajne serwery obliczeniowe. Istotnym aspektem będzie także pozyskiwanie możliwie szerokich kontaktów z otoczeniem społeczno-gospodarczym uczelni, zwłaszcza firmami działającymi w branży związanej z uczeniem maszynowym lub wykorzystującej uczenie maszynowe do rozwoju lub wspierania swojej działalności.

W ramach projektu *AI Tech* rozszerzono kształcenie na studiach o nowe innowacyjne formy, których zadaniem było zwiększenie zaangażowania studentów, szerokie wsparcie ich rozwoju oraz przeciwdziałanie zjawisku rezygnacji ze studiów przed uzyskaniem dyplomu. W ramach tego typu działań angażowano studentów do realizacji projektów badawczo-rozwojowych, umożliwiano im udział w konferencjach krajowych i międzynarodowych z zakresu uczenia maszynowego oraz szkołach letnich, zapewniano możliwość realizacji staży zawodowych lub wizyt studyjnych oraz objęto opieką tutorów. O atrakcyjności tych metod dla studentów świadczy duża liczba osób, która z nich skorzystała. W niniejszym opracowaniu rekomenduje się uczelniom wdrożenie tego typu dodatkowych form kształcenia oraz wskazuje pewne aspekty, które warto jest uwzględnić planując ich realizację. Niniejsze opracowanie zawiera także rekomendacje dotyczące materiałów dydaktycznych udostępnianych studentom.

Podsumowując, rezultaty projektu *AI Tech* należy uznać za wartościowe i cenne wskazówki dla uczelni, które chciałyby utworzyć lub zmodyfikować kierunek lub specjalność Uczenie maszynowe*.* Uczelnie biorące udział w projekcie wypracowały programy takich studiów i zrealizowały cykle kształcenia na nich. Pozwoliło to na przygotowanie koncepcji planu i programu studiów, które mogą być uznane za standard kształcenia specjalistów z zakresu uczenia maszynowego.

Przygotowane przez uczelnie systemy kształcenia na kierunku lub specjalności Uczenie maszynowe charakteryzują się bez wątpienia wysoką innowacyjnością, zarówno w zakresie treści programowych, jak i zastosowanych metod kształcenia. Należy jednak podkreślić, że możliwość przeniesienia wypracowanych w projekcie *AI Tech* rozwiązań do innych polskich uczelni wymaga dużych nakładów finansowych ze względu na konieczność zapewnienia odpowiedniej kadry i infrastruktury oraz zaoferowania studentom dodatkowych aktywności i form wsparcia, takich jak udział w konferencjach międzynarodowych, opieka tutorów lub mentorów, staże w firmach lub wizyty studyjne. Dlatego konieczne byłoby wypracowanie systemowych rozwiązań w zakresie wsparcia finansowego uczelni chcących prowadzić tego typu studia.

# Spis aneksów i załączników

1. **Załącznik nr 1.** *ML – AI TECH – Rekomendowany plan studiów 3- i 4-semestralnych.xlsx*
2. **Załącznik nr 2**. *ML – AI TECH – Rekomendowany program studiów 4-semestralnych.docx*
3. **Załącznik nr 3.** *ML – AI TECH – Rekomendowany program studiów 3-semestralnych.docx*
4. **Załącznik nr 4.** *ML – AI TECH – Sylabusy –* rekomendowane sylabusy przedmiotów i zasady odbywania praktyk podczas studiów II stopnia z Uczenia maszynowego (UW) (w folderze)