

ZASTOSOWANIE METOD UCZENIE MASZYNOWEGO DO SZACOWANIA STATECZNOŚCI SKARP NASYPÓW ZIEMNYCH

ZYDRŃ TYMOTEUZ, ANDRZEJ GRUCHOT

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki

tymoteusz.zydron@urk.edu.pl, andrzej.gruchot@urk.edu.pl

WPROWADZENIE

Jednym z podstawowych problemów inżynierskich w geotechnice i geologii inżynierskiej jest stateczność zboczy oraz skarp nasypów i wykopów budowli ziemnych. Do podstawowych czynników mających wpływ na warunki równowagi skarp ma ich nachylenie, wysokość, właściwości inżynierskie gruntów znajdujących się w budowlu i jej podłoża oraz poziom zwierciadła wody gruntowej. Głównym czynnikiem powodującym zmiany warunków równowagi w konstrukcji jest woda, która zmienia stan nasycenia gruntu, a dalszej konsekwencji stan naprężenia. Proces ten jest nierozdzielnie związany z krążeniem wody w gruncie, co oznacza, że ocena stateczności skarp, głównie budowli hydrotechnicznych, jest zagadnieniem złożonym i wymagającym zastosowanie złożonych, specjalistycznych narzędzi obliczeniowych.

Rozwój narzędzi informatycznych i związane z tym możliwości przetwarzania dużej ilości danych powodują, że coraz częściej do rozwiązywania problemów w zakresie geotechniki i geologii inżynierskiej zastosowanie znajdują metody uczenia maszynowego, których dodatkową zaletą jest możliwość uwzględnienia w analizach danych o charakterze jakościowym. W związku z tym mogą one stanowić alternatywę dla standardowych narzędzi inżynierskich (programów specjalistycznych).

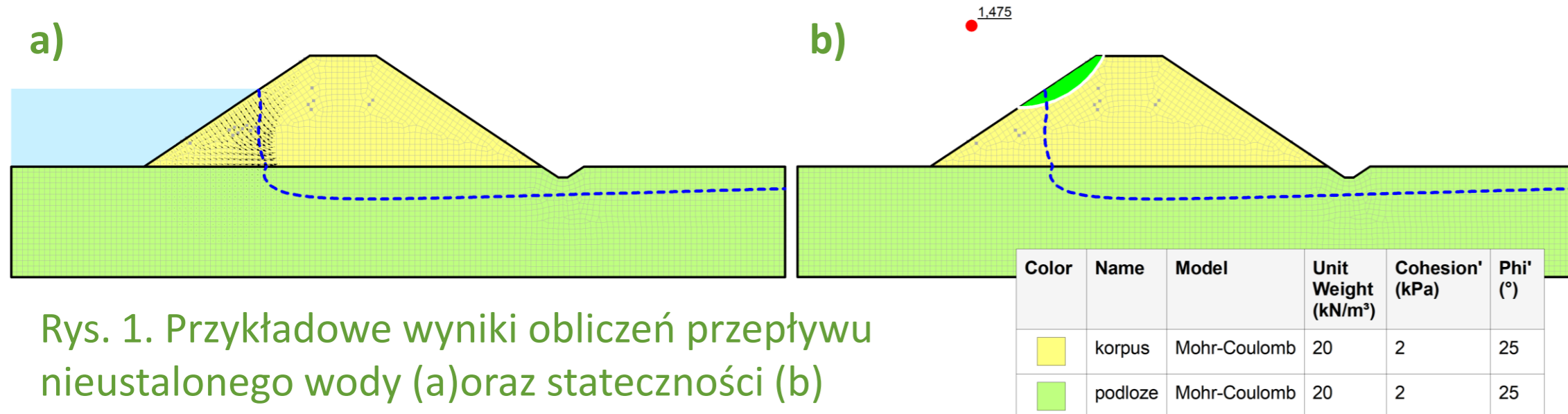
ZAKRES I METODYKA PRACY

W pracy przedstawiono wyniki predykcji stateczności skarp nasypu hydrotechnicznego z wykorzystaniem algorytmów uczenia maszynowego: regresji grzbietowej, metody najbliższych sąsiadów, metody wektorów nośnych, lasów losowe, XGBoost oraz wielowarstwowej sieci neuronowej.

W ramach analiz wykonano obliczenia stateczności metodą Morgenstern-Price'a dla ponad 1200 przypadków uwzględniających różne wartości parametrów geotechnicznych gruntu korpusu i podłoża nasypu (gęstość objętościowa, współczynnik filtracji, kąt tarcia wewnętrzny i spójność) oraz trzech nachyleń skarp (1:1,5; 1:2,0 oraz 1:2,5). Obliczenia uwzględniały warunki przepływu wody przez konstrukcję nasypu w różnych warunkach kształtowania się poziomu zwierciadła wody (przebiegu fali wezbraniowej) w międzywalu.

Obliczenia przeprowadzono w programie GeoStudio dla wału o wysokości 5 m dla siatki obliczeniowej o wielkości oczek 0,25 m.

W analizie uwzględniono stateczność skarp nasypów w warunkach braku piętrzenia oraz w warunkach piętrzenia (przepływu wezbraniowego o czasie trwania 15 dni) odpowiadających maksymalnemu piętrzeniu 4 m (Rys. 1).



Rys. 1. Przykładowe wyniki obliczeń przepływu nieustalonego wody (a) oraz stateczności (b)

W pracy porównano wyniki obliczeń współczynnika bezpieczeństwa (stateczności) metodą tradycyjną z wynikami obliczeń za pomocą metod uczenia maszynowego dla następujących warunków piętrzenia wody przez nasyp (*zadanie regresji*):

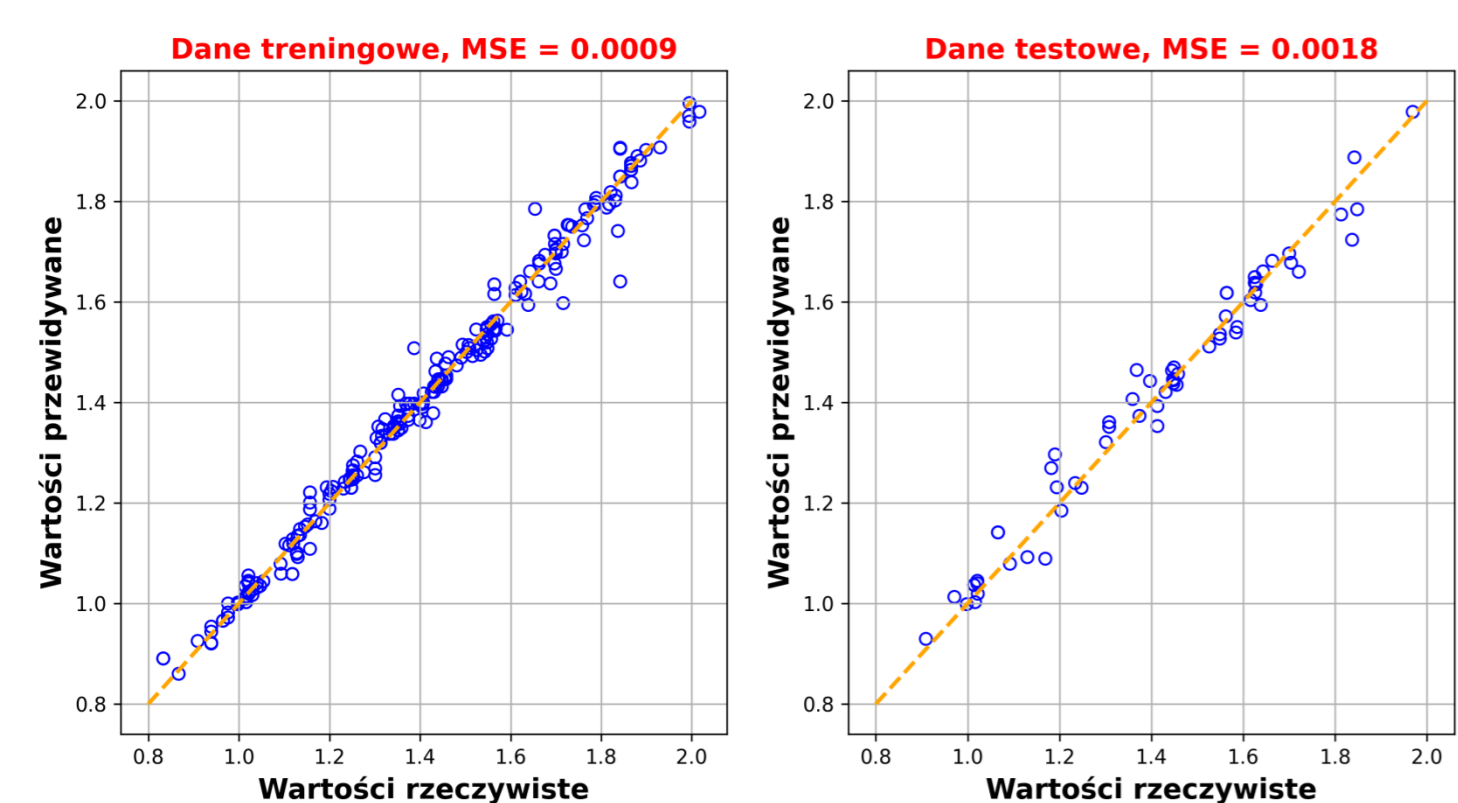
1. Statyczny poziom wody poniżej podstawy nasypu,
2. Poziom wody zmienny (przepływ nieustalony), maksymalnie 1 m od korony.

Dodatkowym celem analiz było (*klasyfikacja binarna*):

1. Wskazanie skarpy o mniejszym współczynniku bezpieczeństwa
2. Określenie czy wezbranie zagraża bezpieczeństwu budowli ($FS \leq 1,0$).

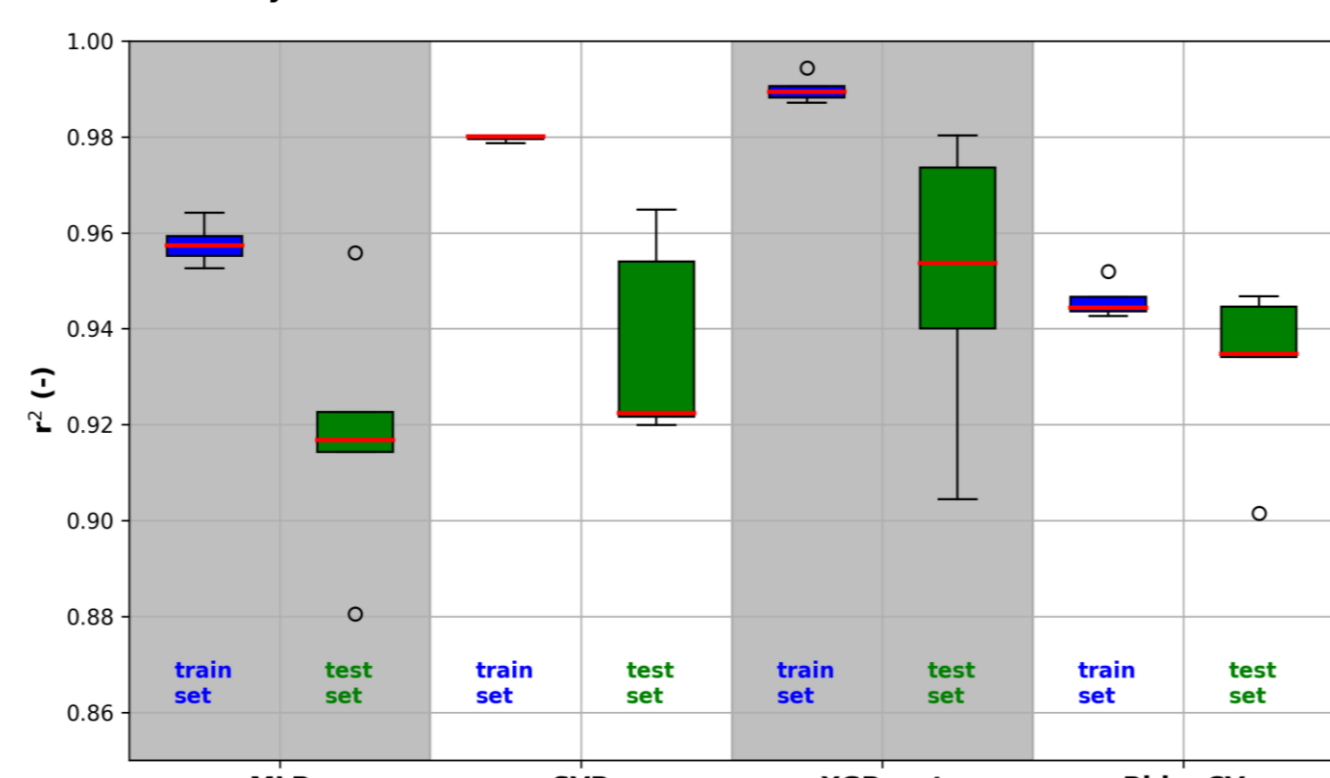
WYNIKI ANALIZ

1. Stateczność skarp - brak piętrzenia wody



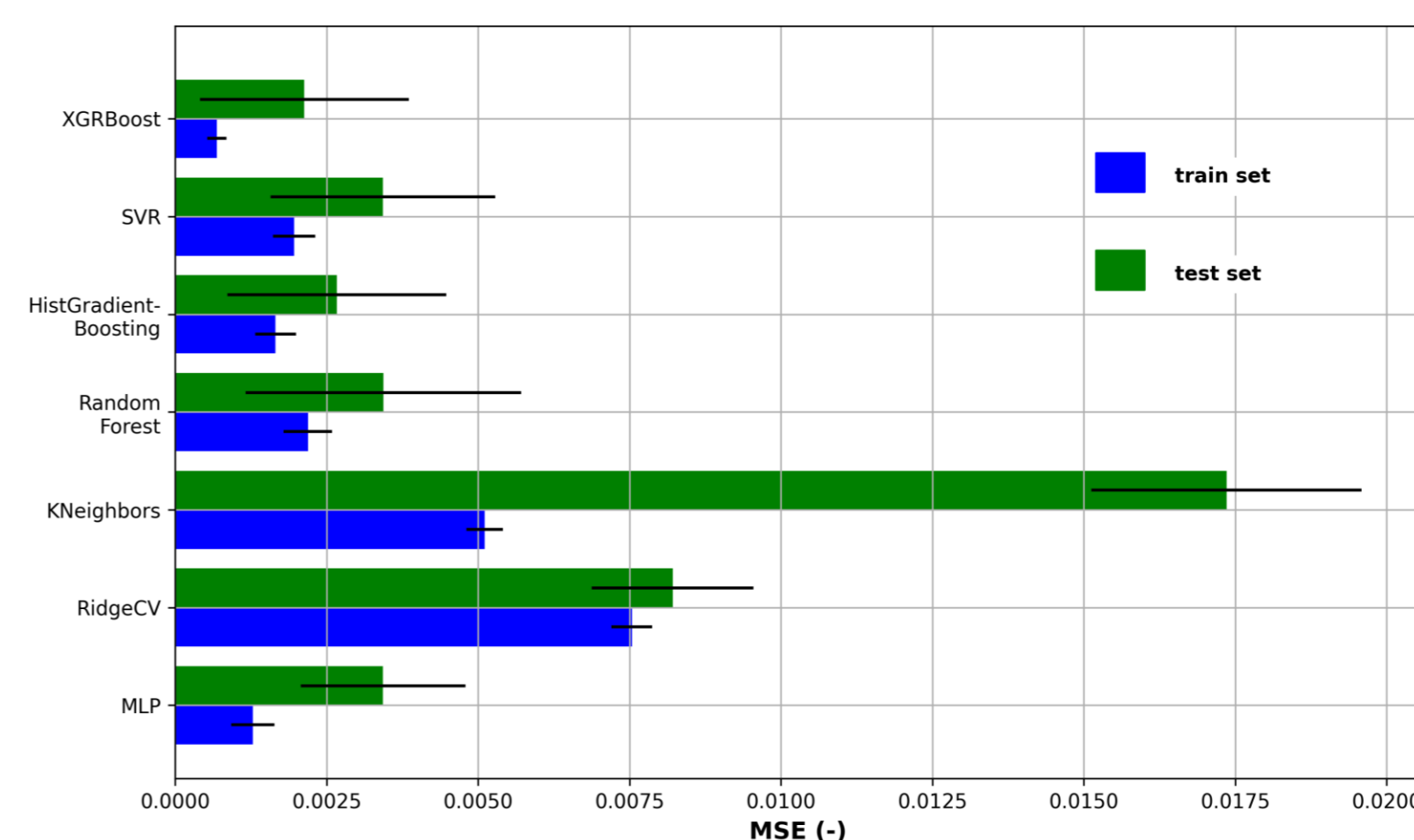
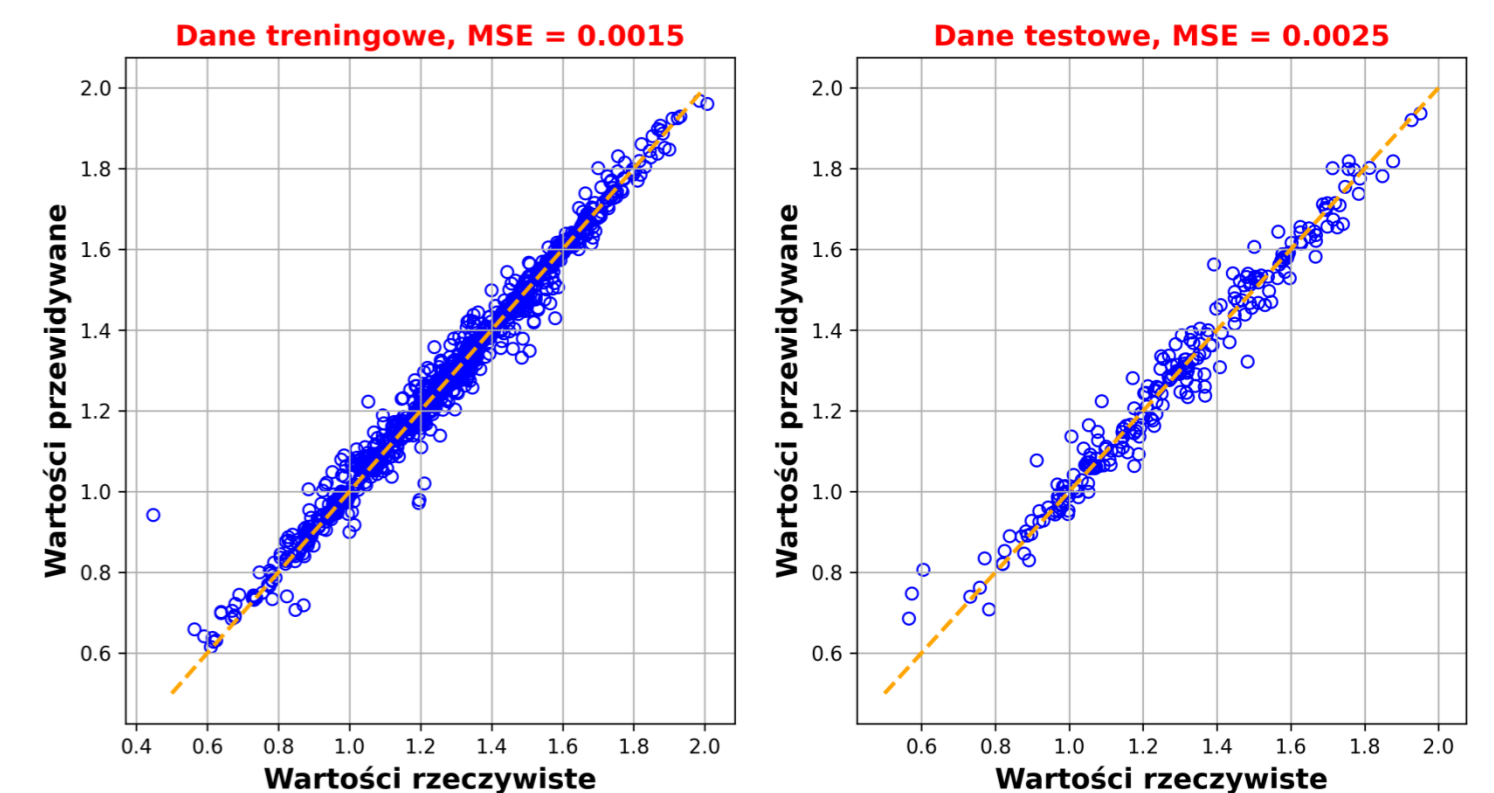
Rys. 2. Przykładowe porównanie wyników predykcji współczynnika stateczności z obliczeniami inżynierskimi (wartości rzeczywiste) - model XGBoost

Rys. 3. Porównanie korelacji współczynnika stateczności pomiędzy wynikami predykcji a obliczeniami inżynierskimi



2. Stateczność skarp w warunkach wezbrania

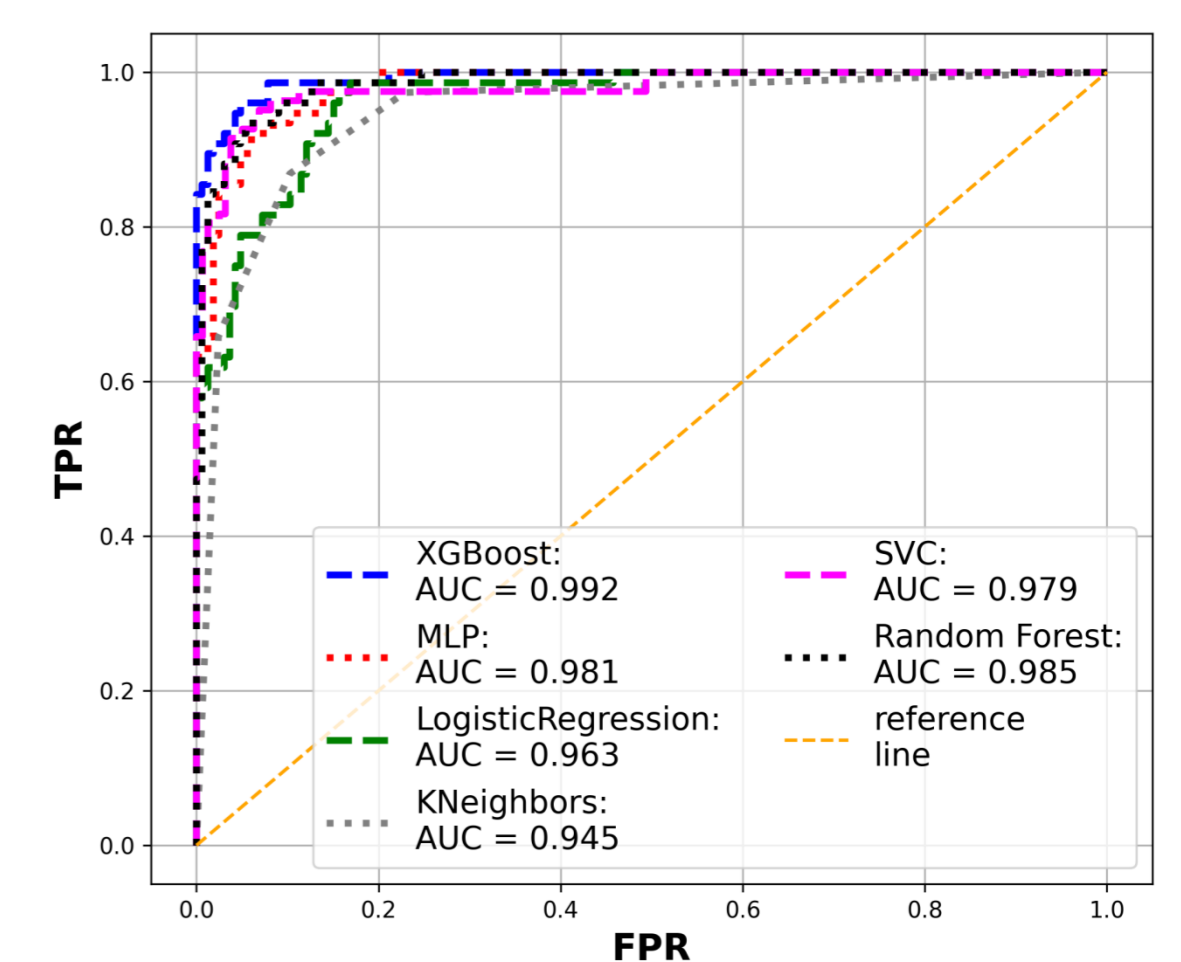
Rys. 4. Przykładowe porównanie wyników predykcji współczynnika stateczności z obliczeniami inżynierskimi (wartości rzeczywiste) - wielowarstwowa sieć neuronowa (MLP)



Rys. 5. Porównanie błędów predykcji współczynnika stateczności z obliczeniami inżynierskimi (wartości rzeczywiste)

3. Określenie skarpy o mniejszym współczynniku bezpieczeństwa

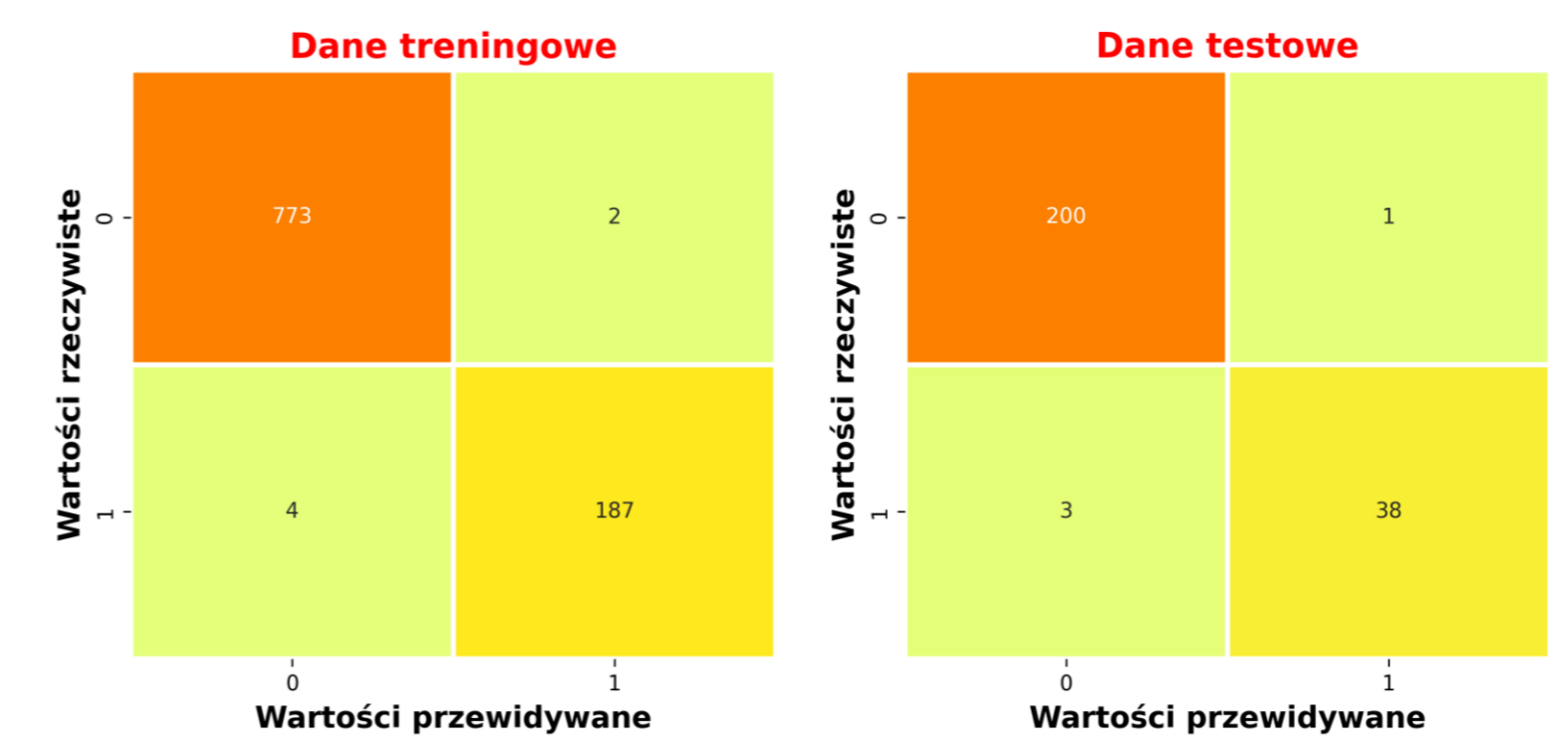
Rys. 6. Krzywe ROC dla wybranych modeli obliczeniowych



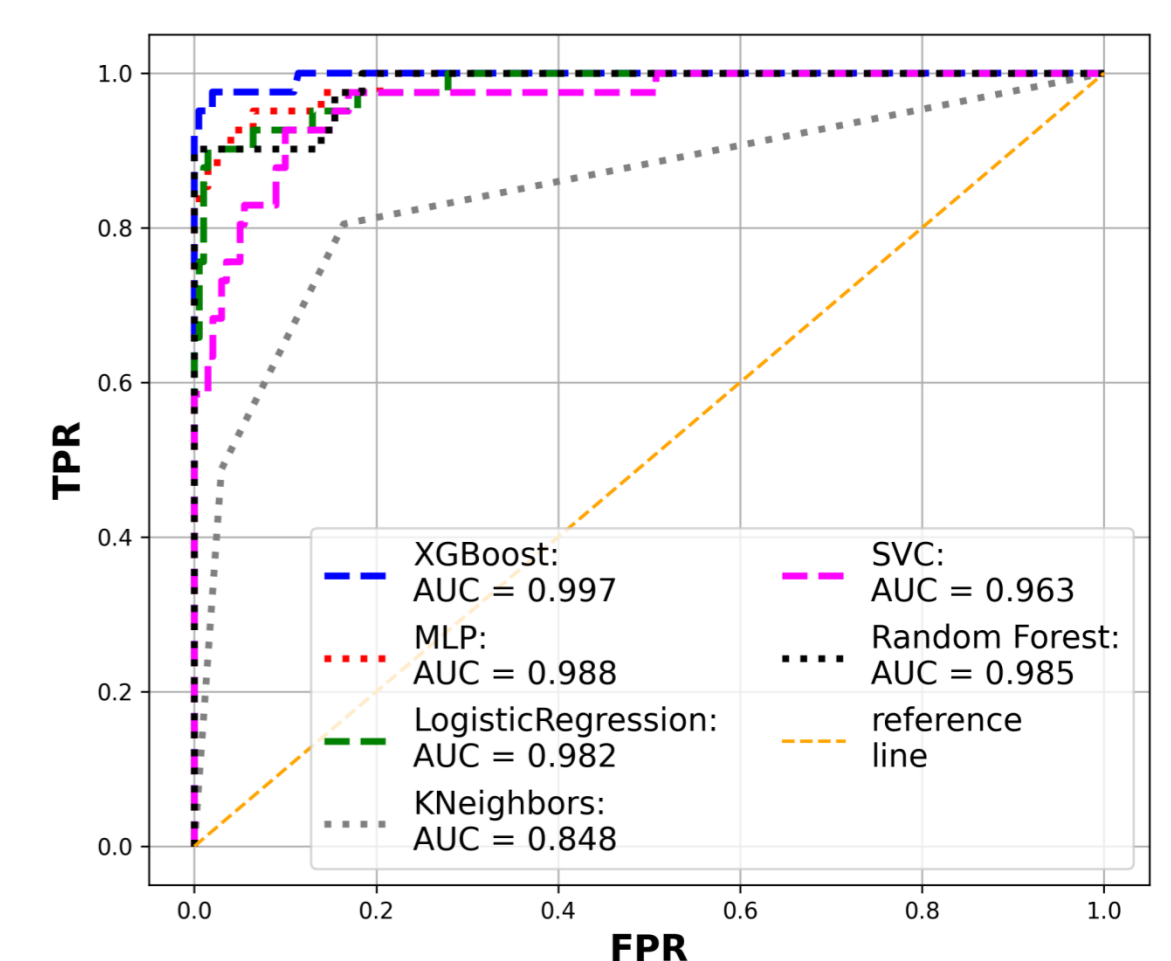
4. Określenie możliwości utraty stateczności budowli

Rys. 7. Przykładowa macierz pomyłek - model XGBoost

Objaśnienie osi:
0 - skarpa stateczna,
1 - utrata stateczności



Rys. 8. Krzywe ROC dla wybranych modeli obliczeniowych



PODSUMOWANIE

Wyniki analiz wykazały ogólnie, że zastosowanie metod uczenia maszynowego do prognozowania stateczności skarp umożliwia uzyskanie wartości współczynnika bezpieczeństwa zbliżonych do wartości uzyskiwanych z obliczeń inżynierskich. W przypadku najlepszego modelu błędy obliczeniowe mieszczą się w przeważnie w zakresie $\pm 5\%$. W przypadku zadań regresji stosunkowo dobre wyniki obliczeń uzyskano stosując modele oparte o algorytm drzew decyzyjnych oraz wielowarstwową sieć neuronową.

Obliczenia wskazujące na niebezpieczeństwo utraty stateczności skarp wykazały, że błąd klasyfikacji w przypadku najlepszej metody wynosi mniej niż 2%. Metody uczenia maszynowego okazały się również pomocne we wskazywaniu skarp o większym zagrożeniu utraty stateczności.

Otrzymane wyniki analiz wskazują, że metody uczenia maszynowego można być pomocne w podejmowaniu decyzji o zabiegach zabezpieczających skarpy wykonywanych w trakcie przejścia wezbrań czy też do wykonania wstępnej oceny stateczności skarp.