

## Załącznik 2 – Autoreferat.

### 1 Imię i Nazwisko

Krzysztof Przednowek

### 2 Posiadane dyplomy, stopnie naukowe

Dyplomy:

- 07/2014 — Doktor nauk o kulturze fizycznej, Akademia Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach, ul. Mikołowska 72A, 40-065 Katowice.  
Tytuł dysertacji: *Metody sztucznej inteligencji oraz regularyzowane modele liniowe w optymalizacji obciążeń treningowych w biegu na 400 m przez płotki*  
Promotor: prof. dr hab. Janusz Iskra  
Recenzenci: prof dr hab. Andrzej Kosmol, dr hab. Jarosław Cholewa
- 06/2010 — Magister inżynier Informatyki, specjalność Systemy informatyczne, Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów.
- 06/2012 — Studia podyplomowe „Wychowanie fizyczne”, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Rejtana 16c, 35-959 Rzeszów.
- 05/2012 — Studia podyplomowe „Statystyka w praktyce społeczno – gospodarczej”, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Rejtana 16c, 35-959 Rzeszów.
- 05/2012 — Kwalifikacyjny kurs pedagogiczny, PTEA Wszechnica, ul. Rzeszowska 10, 38-404 Krosno.

Uprawnienia i certyfikaty:

- 01/2013 — Certyfikowane szkolenie: Zastosowanie pakietu STATISTICA firmy StatSoft w dydaktyce szkoły wyższej, StatSoft Polska, ul. Kraszewskiego 36, 30-110 Kraków.
- 02/2012 — Certyfikowane szkolenie: Zastosowania metod statystycznych w procesie dydaktycznym, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Rejtana 16c, 35-326 Rzeszów.

- 06/2011 — Certyfikowane szkolenie: Techniki i narzędzia informatyczne w procesie dydaktycznym, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Rejtana 16c, 35-326 Rzeszów.
- 04/2011 — Certyfikowane szkolenie: Analiza danych ankietowych – kurs podstawowy, StatSoft Polska, ul. Kraszewskiego 36, 30-110 Kraków.
- 10/2010 — Certyfikowane szkolenie: AMADEUS BASIC – kurs obejmujący zapoznaniem się z funkcjonalnością systemu rezerwacyjnego AMADEUS, Amadeus Polska Sp. z o.o., ul. Domaniewska 49, 02-672 Warszawa.
- 06/2009 — Certyfikowane szkolenie: Organizacja projektów informatycznych, Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów.

### **3 Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych**

- 10/2010–10/2014 – Asystent na Wydziale Wychowania Fizycznego Zakład Metodologii i Informatyki, Uniwersytet Rzeszowski ul. Rejtana 16c, 35-326 Rzeszów.
- 11/2014–09/2018 – Adiunkt na Wydziale Wychowania Fizycznego, Pracownia Analiz Statystycznych, Uniwersytet Rzeszowski ul. Rejtana 16c, 35-326 Rzeszów.
- 10/2018–obcnie – Adiunkt naukowy na Wydziale Wychowania Fizycznego, Pracownia Analiz Statystycznych, Uniwersytet Rzeszowski ul. Rejtana 16c, 35-326 Rzeszów.

## 4 Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.)

### 4.1 Tytuł osiągnięcia naukowego

Jako osiągnięcie naukowe, będące podstawą złożonego wniosku o wszczęcie postępowania habilitacyjnego, wskazuję cykl 5 oryginalnych (o łącznym współczynniku Impat Factor=9.459, punkty MNiSW=105), spójnych tematycznie prac naukowo-badawczych, opublikowanych po uzyskaniu stopnia naukowego doktora nauk o kulturze fizycznej, pod wspólnym tytułem:

***Wspomaganie procesu szkolenia sportowego z wykorzystaniem modelowania komputerowego***

### 4.2 Wykaz publikacji będących osiągnięciem naukowym habilitanta

- 1 **Przednowek, K.**, Wiktorowicz, K., Krzeszowski, T., Iskra, J. (2018). A web-oriented expert system for planning hurdles race training programmes. *Neural Computing and Applications*, 1-17. [IF=4.215, MNiSW=25]

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na:*

- *opracowaniu koncepcji pracy,*
- *implementacji aplikacji wspomagającej trening,*
- *optymalizacji modeli matematycznych,*
- *przygotowaniu opisu interfejsu użytkownika aplikacji iHurdling,*
- *przygotowaniu sekcji opisujących materiał, interfejs użytkownika oraz wyniki eksperymentalne,*
- *mój udział procentowy szacuję na 60%.*

2 **Przednowek, K.**; Barabasz, Z.; Zadarko-Domaradzka, M.; Przednowek, K.H.; Nizioł-Babiarz, E.; Huzarski, M.; Sibiga, K.; Dziadek, B.; Zadarko, E. (2018). Predictive modeling of VO<sub>2</sub>max based on 20 m shuttle run test for young healthy people. *Applied Sciences*, 8, 2213. [IF=1.689, MNiSW=25]

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na:*

- opracowaniu koncepcji pracy,
- opracowaniu modeli matematycznych realizujących predykcję VO<sub>2</sub>max,
- przygotowaniu sekcji opisujących materiał, metody, wyniki i częściowo dyskusji,
- mój udział procentowy szacuję na 55%.

3 **Przednowek, K.**, Krzeszowski, T., Przednowek, K.H., Lenik, P. (2018). A System for Analysing the Basketball Free Throw Trajectory Based on Particle Swarm Optimization. *Applied Sciences*, 8(11), 2090. [IF=1.689, MNiSW=25]

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na:*

- opracowaniu koncepcji pracy,
- przeprowadzeniu analizy danych,
- opracowaniu funkcji obliczających parametry paraboli lotu piłki,
- przygotowanie sekcji opisujących materiał, częściowo wyniki oraz wnioski.
- mój udział procentowy szacuję na 45%.

4 **Przednowek, K.**, Iskra, J., Maszczyk, A., Nawrocka, M. (2016). Regression shrinkage and neural models in predicting the results of 400-metres hurdles races. *Biol Sport.*, 33(4), 415-421. [IF=1.436, MNiSW=15]

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na:*

- opracowaniu koncepcji pracy,
- wyznaczeniu modeli matematycznych realizujących predykcję rezultatu,
- opracowaniu sekcji opisujących wstęp, materiał, metody, wyniki oraz częściowo dyskusji,
- mój udział procentowy szacuję na 75%.

- 5 Wiktorowicz, K., **Przednowek, K.**, Lassota, L., Krzeszowski, T. (2015). Predictive modeling in race walking. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2015, 735060. [IF=0.430, MNiSW=15]

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na:*

- *opracowaniu koncepcji pracy,*
- *wyznaczeniu modeli matematycznych realizujących predykcję rezultatu,*
- *przygotowaniu sekcji opisujących wstęp, materiał oraz wyniki,*
- *mój udział procentowy szacuję na 45%.*

We wszystkich przedstawionych wyżej pracach byłem pierwszym lub drugim autorem i miałem wiodący udział w obszarze merytorycznym i redakcyjnym. Kopie wyżej zaprezentowanych prac wraz z oświadczeniami współautorów przedstawione zostały w załączniku 5 do wniosku.

### **4.3 Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.**

#### **4.3.1 Cel naukowy**

Głównym celem prezentowanego cyklu prac naukowych było opracowanie i walidacja modeli komputerowych, opartych na metodach uczenia maszynowego i inteligencji obliczeniowej, wspomagających proces szkolenia sportowego. Przedstawione prace ukazują różne aspekty wspomaganie tj. planowanie obciążeń treningowych, przewidywanie wyniku sportowego dla zadanego planu treningowego, szacowanie maksymalnego pułapu tlenowego z wykorzystaniem progresywnego testu biegowego oraz analiza kinematyczna trajektorii piłki w koszykarskim rzucie osobistym.

#### **4.3.2 Wprowadzenie**

Sport stanowi idealne laboratorium badawcze, gdzie obserwuje się ekstremalne sytuacje przy jednoczesnej maksymalnej motywacji jednostek badanych. Z tego też powodu sport jest również idealnym środowiskiem do obserwacji, analizy oraz optymalizacji występujących w nim zjawisk, takich jak trening sportowy, czy też selekcja sportowa. Istnieją zatem przesłanki, aby we wspomaganie szkolenia sportowego

stosować sprawdzone w innych dziedzinach rozwiązania matematyczne czy też informatyczne. To wszystko powoduje, iż wspomaganie treningu sportowego jest często zagadnieniem interdyscyplinarnym. Metody informatyczne i matematyczne służą do rozwoju sportu stąd też dziedzina ta traktowana jest jako dział teorii sportu i teorii treningu. Prezentowane osiągnięcie naukowe wpisuje się w tematykę dziedziny określanej przez zagranicznych naukowców jako "Computer Science in Sport". W moich pracach skupiam się na szeroko rozumianym modelowaniu komputerowym, które z założenia stanowić ma narzędzie ułatwiające obserwację i analizę przejawów jakościowych i ilościowych występujących w szkoleniu sportowym.

Problem modelowania komputerowego w sporcie opisano i przedstawiono w wielu pracach zagranicznych [22, 13, 9, 1, 33] jak i krajowych [29, 16, 31, 28, 21, 27]. Ważną rolę w tym aspekcie odgrywają metody inteligencji obliczeniowej wśród, których najpopularniejszymi są sztuczne sieci neuronowe (SSN). Ich zastosowania obejmują wiele aspektów m.in. predykcję talentu sportowego [22, 27] czy też predykcję osiągniętych rezultatów [21]. Na uwagę zasługują również innowacyjne pozycje Ryguły [29, 30, 31]. Ryguła w swojej pracy [29] wykorzystał SSN w predykcji rezultatu, gdzie sieć na podstawie wielkości charakteryzujących kandydata prognozowała poziom jego przyszłego rozwoju. Budowę modelu matematycznego opisali również Iskra i wsp. [16]. Przedstawiony model realizował zadanie optymalizacji obciążeń treningowych zawodników uprawiających bieg na 110 m ppł. Innym zastosowaniem empirycznego modelu treningu sportowego w postaci układu równań różniczkowych jest praca Cholewy [11]. Wyznaczony model optymalizował rezultat w pływaniu na dystansie 25 m oraz 400 m stylem dowolnym. Budowa modeli regresyjnych w predykcji rezultatu znajduje zastosowanie przede wszystkim w tych dyscyplinach, gdzie zawodnicy uzyskują wymierne wyniki. Zastosowanie regresji liniowych w lekkoatletyce opisano w pracy [21], gdzie przedstawiono regresje realizujące predykcję wyniku w rzucie oszczepem. Skonstruowany model pełnił rolę narzędzia wspomagającego dobór i selekcję przyszłych oszczepników. Modelowanie komputerowe znajduje zastosowanie nie tylko w lekkoatletyce, ale również w innych dyscyplinach sportowych. Ciekawa aplikację SSN została zaprezentowana w pracy [36], gdzie autorzy zweryfikowali hipotezę, że modele neuronowe typu Kohonena można stosować do klasyfikacji pływaków.

Piśmiennictwo zagraniczne jest również bogate w prace, w których poruszano problem modelowania komputerowego w sporcie. W pracy [12], autorzy używają

SSN do przewidywania formy startowej pływaków. SSN może być również wykorzystywana przez trenerów do modelowania przyszłego poziomu wytrenowania sportowca i wspierania procesu selekcji sportowej [32, 24]. Przykładowo w pracy [24], autorzy przedstawili aplikacje dla różnych dyscyplin sportowych, w których modele neuronowe mogą być skutecznie wykorzystywane w procesie szkolenia sportowego (wykrywanie talentu sportowego w pływaniu, identyfikowanie wzorców taktycznych w piłce ręcznej oraz przewidywanie wyników w pływaniu). W badaniach [19], Lapkova i wsp. zaproponowała SSN do klasyfikacji techniki kopnięcia. Celem tej pracy była weryfikacja, czy możliwa jest detekcja dwóch różnych technik kopnięcia w zależności od profilu siły kopnięcia. SSN są również wykorzystywane do analizy taktyki w sportach drużynowych [25, 23, 14]. W artykule [23], autorzy przedstawili wyniki analizy taktycznej opartej na wzorach, które zostały wygenerowane przez SSN. Innym zastosowaniem SSN w sporcie jest przewidywanie zależności pomiędzy wewnętrznymi i zewnętrznymi obciążeniami treningowymi [7]. Barlet i wsp. wyliczyli model neuronowy z danych treningowych 41 profesjonalnych australijskich piłkarzy. Budowane są także modele predykcji rezultatu sportowego uwzględniające statystyki sezonowe poszczególnych drużyn zespołowych [13].

Oprócz wyżej wymienionych aplikacji modelowanie predykcyjne stosowane jest również bardzo często jako metoda pośrednia w szacowaniu aktualnego poziomu wytrenowania. Zastosowanie takie opisano w pracy [10], w której równania regresji wykorzystano w predykcji maksymalnego pułapu tlenowego zawodników trenujących piłkę nożną. W literaturze można odnaleźć wiele prac, które koncentrują się na przewidywaniu tego wskaźnika przy użyciu, między innymi, wyników testów wydolnościowych, parametrów antropometrycznych lub wskaźników aktywności fizycznej [1, 9, 34]. Dlatego modele predykcyjne  $VO_{2max}$  mogą być klasyfikowane zarówno jako modele 'exercise' (wykorzystujące np. wynik testu sprawnościowego), jak i 'non-exercise' (wykorzystujące np. kwestionariusze aktywności). Modele 'exercise' dokonują predykcji na podstawie wyników testu wytrzymałościowego z maksymalną lub submaksymalną intensywnością [20, 3, 34, 5, 4, 9]. Wśród tych modeli wyróżnia się również te, które oparte są na testach ergometrycznych [35]. Modele 'non-exercise' są natomiast modelami wykorzystującymi informację o aktywności fizycznej przy czym bez stosowania prób wysiłkowych. Najczęściej są to kwestionariusze aktywności fizycznej lub podstawowe predykatory takie jak wiek, płeć czy BMI [2].

### 4.3.3 Stosowane metody analizy danych

W prezentowanym przeze mnie osiągnięciu naukowym stosowałem zaawansowane metody obliczeniowe zaliczające się do metod uczenia maszynowego i metod inteligencji obliczeniowej. Modelowanie realizowane było z wykorzystaniem metod:

- Ordinary least square (OLS) – klasyczny model regresji wielokrotnej [15].
- Regresje grzbietowa (Ridge), least absolute shrinkage and selection operator (LASSO), sieć elastyczna (elasticnet) – regresje regularyzowane [15, 17].
- Perceptrony wielowarstwowe (MLP) – sztuczne sieci neuronowe [8].
- Sieci o radialnych funkcjach bazowych (RBF) – sztuczne sieci neuronowe [8].
- Modele rozmyte (FUZZY) – systemy typu Takagi-Sugeno [26].
- Modele liniowe z rozmytą korekcją (F-OLS) – autorska metoda opracowana na potrzeby aplikacji iHurdling.
- Forward, Backward, Bidirectional selection – metody optymalizacji zbioru predyktorów [15].
- Optymalizacja rojem cząstek – metoda wykorzystana w analizach kinematycznych [18].

Walidacja prezentowanych modeli predykcyjnych realizowana była z wykorzystaniem sprawdzianu krzyżowego typu leave-one-out (LOOCV) [6]. Zastosowanie tej metody umożliwiło rzetelną ocenę dokładności predykcyjnej wyznaczonych modeli. Warto zaznaczyć, że dzięki zastosowaniu tej metody możliwa była ocena walorów predykcyjnych dla danych nie biorących udziału w procesie wyznaczania modeli. Metoda LOOCV jest jedną z bardziej krytycznych metod uniemożliwiających dobieranie zbioru testującego tak, by minimalizować błąd predykcji.

### 4.3.4 Opis uzyskanych wyników

Prezentowana metoda wspomaganie procesu treningowego oparta jest na trzech typach modelowania matematycznego. Pierwszy typ modeli generuje obciążenia treningowe (GT) dla zadanego rezultatu i parametrów zawodnika. Drugi typ realizuje predykcję rezultatu (PR) sportowego dla określonego treningu wskazanego przez



trenera. Trzeci typ modeli zaprezentowany w moim osiągnięciu dotyczy modeli realizujących zadanie detekcji i śledzenia ruchu na sekwencjach wideo. Opracowanie i aplikacja tych modeli umożliwi ocenę i analizę kinematyki wybranych aktów ruchowych.

Korzystając z modeli GT i PR, wprowadza się na wejściu modelu GT parametry i wyniki zawodnika oraz rezultat oczekiwany. System generuje trening, który zostaje oceniany przez trenera, jeżeli według niego należałoby zmienić niektóre obciążenia treningowe, to może on wprowadzić odpowiednie poprawki. Zmodyfikowany trening w formie obciążeń treningowych wraz z parametrami zawodnika trafia na wejście modelu PR, a następnie system generuje rezultat jaki uzyskałby zawodnik dla zmodyfikowanego treningu. Dzięki temu trener może zaobserwować zmiany wynikające z modyfikacji poszczególnych składowych treningu. Zastosowanie obu funkcjonalności powoduje, iż trener wyposażony jest w narzędzie wspomagające dobór najlepszych obciążeń treningowych dla oczekiwanego wyniku sportowego. Sprawia to, że zawodnik może zrealizować optymalny trening dla własnych parametrów i zadanego rezultatu. Oba zadania optymalizacyjne, w zależności od zapotrzebowania, mogą być wykorzystywane oddzielnie lub mogą tworzyć jeden system.

Pierwszą pracą dotyczącą komputerowego wspomagania planowania obciążeń treningowych z wykorzystaniem zaawansowanych modeli matematycznych była praca pt. *Predictive modeling in race walking*. W pracy tej skupiłem się na opracowaniu modeli regresyjnych realizujących predykcję rezultatu dla zadanego programu treningowego realizowanego jako miesięczny cykl treningowy. W artykule tym przedstawiłem wykorzystanie liniowych i nieliniowych modeli wielowymiarowych jako narzędzi do optymalizacji procesu treningowego zawodników trenujących chód sportowy. Zadanie przewidywania wyników z punktu widzenia trenera jest bardzo ważne w procesie treningu sportowego. Trener korzystający z wcześniej zbudowanego modelu może przewidzieć, jak obciążenia treningowe wpłyną na wynik sportowy. Przedstawione modele tworzą prognozy oparte na proponowanym comiesięcznym szkoleniu wprowadzonym jako suma obciążeń treningowych (każdego typu ćwiczenia – średnia treningowa) realizowanych w danym miesiącu. Modele zostały wyznaczone na podstawie danych zebranych podczas zgrupowań kadry juniorów i młodzików. Głównym zadaniem modeli było przewidywanie rezultatu jaki zostanie osiągnięty przez zawodnika na dystansie 3 km w chodzie sportowym. Wynik ten generowany był na podstawie parametrów zawodnika oraz proponowanego programu treningowego. Ma-

teriał wykorzystany do wyliczenia modeli składał się z 122 programów treningowych (wzorców) zrealizowanych przez 21 zawodników. Do budowy modelu predykcyjnego wykorzystano 18 zmiennych wejściowych i jedną zmienną wyjściową. Zmienne wyjściowe to: trzy zmienne reprezentujące okres treningowy, płeć, wiek, BMI, aktualny rezultat oraz 11 zmiennych reprezentujących obciążenia treningowe. Na wyjściu modelu znajdował się rezultat chodu na 3 km. W celu wybrania najlepszego modelu zastosowano sprawdzian krzyżowy (krosvalidację) typu LOOCV. Modele wyliczono w środowisku GNU R i w oprogramowaniu STATISTICA. W pracy wykorzystano liniowe modele regularyzowane, które w celu uzyskania lepszej dokładności poddano modyfikacji. Na podstawie uzyskanych wag regresji obliczono model składający się z części liniowej i nieliniowej, w której część liniowa jest równa regresji optymalnej, a część nieliniowa ma postać funkcji kwadratowej wybranych predyktorów. Najlepszy model liniowy został wyznaczony metodą LASSO, która generuje błąd na poziomie 26.2 sekund, natomiast najlepszym nieliniowym modelem była modyfikacja regresji LASSO, dla której błąd wynosił 24.6 sekundy. Ponadto metoda uprościła strukturę modelu poprzez wyeliminowanie aż 9 predyktorów.

Kolejna praca dotycząca predykcji rezultatu ukazała się w periodyku *Biology of Sport* i zatytułowana była *Regression shrinkage and neural models in predicting the results of 400-metres hurdles races*. Praca ta dotyczyła predykcji wyniku sportowego jednakże w tym przypadku oparta była na danych zawodników trenujących bieg na 400 m przez płotki (ppł). Analizą objęto 21 polskich płotkarzy w wieku  $22.25 \pm 1.96$  lat startujących w latach 1989–2011. Zawodnicy odznaczyli się wysokim poziomem sportowym (wynik na 400 m przez płotki:  $51.26 \pm 1.24$  s). Wchodzili oni w skład Kadry Narodowej PZLA reprezentując Polskę na Igrzyskach Olimpijskich, Mistrzostwach Świata i Europy w kategoriach wiekowych juniora, młodzieżowca i seniora. Najlepszy wynik na 400 m ppł w badanej grupie plasował się na poziomie 48.19 s. Do wyznaczenia modeli PR dla 400 m ppł zastosowano 28 zmiennych. Zestaw zmiennych zawierał jedną zmienną zależną i 27 zmiennych niezależnych. Zmienną zależną był wynik biegu, natomiast zmienne niezależne obejmowały: parametry zawodnika, zmienne reprezentujące okresy treningowe, obciążenia treningowe kształtujące szybkość, obciążenia treningowe kształtujące wytrzymałość, obciążenia treningowe rozwijające wytrzymałość siłową, obciążenia treningowe rozwijające siłę i obciążenia treningowe rozwijające technikę i rytm. Zebrany materiał pozwolił na analizę 144 programów treningowych stosowanych w jednym z trzech okresów treningowych

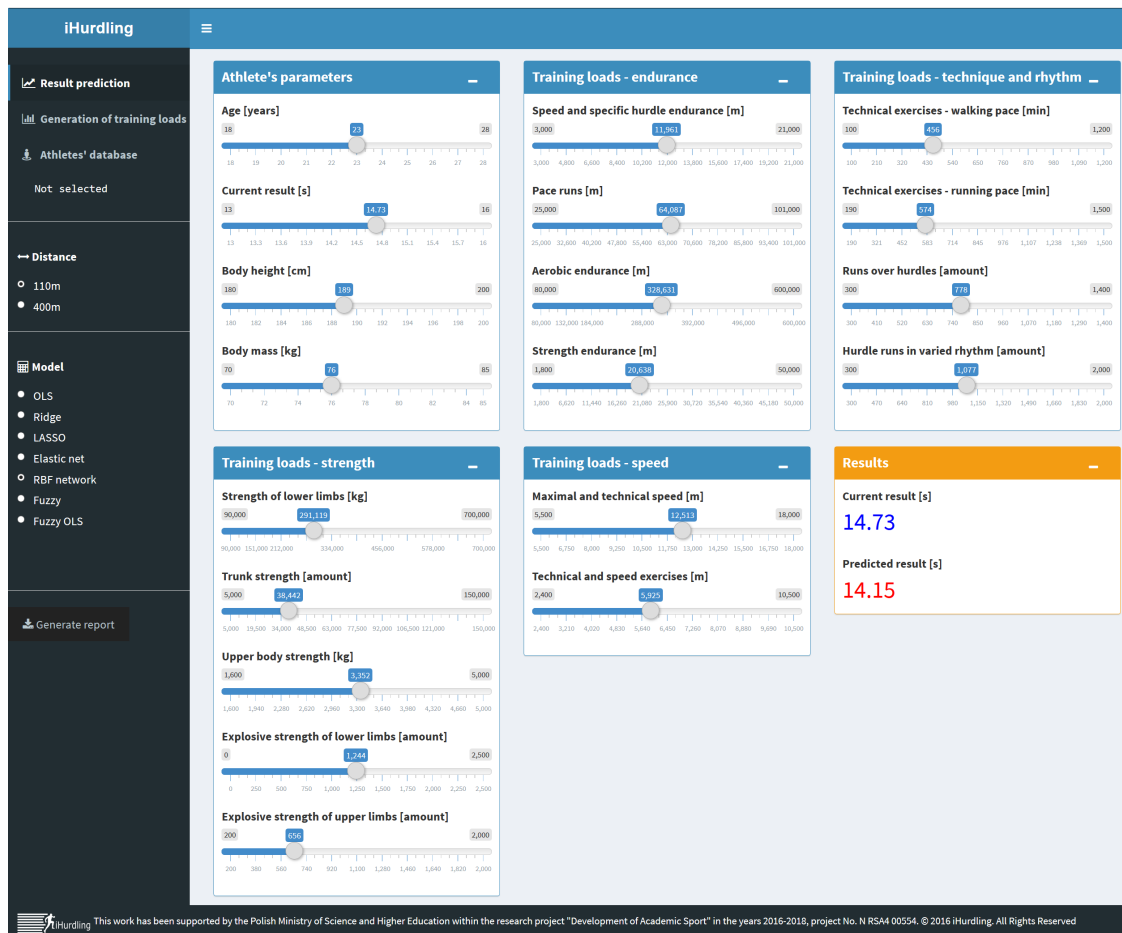
(okres przygotowania ogólnego – OPO trwający od października do stycznia, okres przygotowania specjalnego – OPS trwający od lutego do maja oraz okres startowy – OS, trwający od czerwca do września). W artykule tym zweryfikowano skuteczność wykorzystania regresji regularyzowanych, sztucznych sieci neuronowych oraz metod wykorzystujących wagi optymalnych modeli liniowych rozszerzonych o nieliniową część dotyczącą wybranych predyktorów. Najlepszym modelem zweryfikowanym za pomocą LOOCV było rozszerzenie modelu LASSO o nieliniową część wybranych predyktorów. Korzystanie z tego modelu w praktyce pozwala na optymalny dobór obciążeń treningowych, a tym samym wspiera osiągnięcie pożądanego rezultatu. Z punktu widzenia trenera zadanie przewidywania wyników może być bardzo ważne w procesie szkolenia sportowego. Najlepszy model generował bardzo mały błąd na poziomie 0.59 sekundy. W pracy tej zastosowano nowe metody predykcyjne opracowane przez moją osobę. Uzyskano znacznie lepszą dokładność predykcji w porównaniu do klasycznych metod, które stosowałem m.in. w dysertacji doktorskiej i pracach przed uzyskaniem stopnia doktora.

Najważniejszą pracą w mojej ocenie, wchodzącą w skład prezentowanego osiągnięcia naukowego, jest praca pt. *A web-oriented expert system for planning hurdles race training programmes*. Głównym celem tej pracy było opracowanie systemu eksperckiego, nazwanego **iHurdling**, umożliwiającego przewidywania wyników i generowania obciążeń treningowych dla płotkarzy trenujących 110 m lub 400 m ppł. W aplikacji zastosowano wszystkie metody wymienione w sekcji 4.3.3. Analiza błędów zastosowywanych metod predykcyjnych wykazała, że w każdym przypadku zaproponowany przez autorów korektor rozmyty był metodą najdokładniejszą. System wykorzystuje modele regresji liniowej (OLS, Ridge, LASSO, elasticnet) i modele nieliniowe (RBF, model rozmyty, OLS z korekcją rozmytą). Wszystkie modele wyznaczono na podstawie zmiennych zaprezentowanych w tabeli 1. Dane pochodzą od zawodników charakteryzujących się bardzo wysokim poziomem wytrenowania. Głównymi zaletami tego systemu jest łatwy w użyciu interfejs i kompatybilność z różnymi platformami, co oznacza, że można go uruchomić na komputerze osobistym jak i na urządzeniu mobilnym (smartphon). Aplikacja iHurdling została zaimplementowana w środowisku GNU R z wykorzystaniem dodatkowych bibliotek. Stworzony interfejs jest aplikacją webową dlatego też do poprawnego działania wymaga jedynie przeglądarki internetowej. Aktualna wersja aplikacji dostępna jest pod adresem: <https://hurdles.shinyapps.io/ihurdling>.

Tabela 1: Opis zmiennych wykorzystanych do wyliczenia modeli PR i GT dla 110 m i 400 m ppł

PR	GT	Opis
$y$	$x_1$	Wynik uzyskany przed cyklem treningowym [s]
$x_1$	$x_2$	Wiek [lata]
$x_2$	$x_3$	Wysokość ciała [cm]
$x_3$	$x_4$	Masa ciała [kg]
$x_4$	$x_5$	Body mass index
$x_5$	$x_6$	Wynik uzyskany po cyklu treningowym [s]
$x_6$	$y_1$	Ćwiczenia kształtujące szybkość biegową [m]
$x_7$	$y_2$	Szybkościowe ćwiczenia specjalne [m]
$x_8$	$y_3$	Ćwiczenia kształtujące wytrzymałość szybkościową i specjalną [m]
$x_9$	$y_4$	Ćwiczenia kształtujące wytrzymałość tempową [m]
$x_{10}$	$y_5$	Ćwiczenia kształtujące wytrzymałość tlenową [m]
$x_{11}$	$y_6$	Ćwiczenia kształtujące wytrzymałość siłową [m]
$x_{12}$	$y_7$	Ćwiczenia kształtujące siłę ogólną kończyn dolnych [kg]
$x_{13}$	$y_8$	Ćwiczenia mięśni stabilizatorów tułowia [liczba]
$x_{14}$	$y_9$	Ćwiczenia mięśni kończyn górnych i obręczy barkowych [kg]
$x_{15}$	$y_{10}$	Ćwiczenia siłowo-szybkościowe kończyn dolnych [liczba]
$x_{16}$	$y_{11}$	Ćwiczenia siłowo-szybkościowe kończyn górnych [liczba]
$x_{17}$	$y_{12}$	Ćwiczenia techniczne w marszu [min]
$x_{18}$	$y_{13}$	Ćwiczenia techniczne w biegu [min]
$x_{19}$	$y_{14}$	Biegi przez płotki [liczba]
$x_{20}$	$y_{15}$	Biegi przez płotki w zmiennym rytmie [liczba]

Aplikacja składa się z trzech głównych zakładek: "Result prediction", "Generation of training loads" oraz "Athletes' database" (rys. 1). Z lewej strony interfejsu umieszczone jest menu z odsyłaczami do poszczególnych paneli. Poniżej przycisków wybierających odpowiedni panel znajduje się pole wyboru dyscypliny, gdzie użytkownik może wskazać konkurencję 110 m lub 400 m ppł. Dodatkowo użytkownik może wybrać model matematyczny, który zostanie wykorzystany podczas predykcji lub generowania obciążeń. W tym celu wybiera jedną z dostępnych opcji w polu "Model". Stworzona aplikacja umożliwia generowanie raportów z przeprowadzonych analiz, w tym celu należy użyć przycisku "Generate raport". Panel do predykcji rezultatu ("Result prediction") jest ekranem służącym do wprowadzania danych do modułu PR. Zmienne wejściowe pogrupowano w sześciu obszarach: parametry zawodnika (athlete parameters), cechy somatyczne (somatic features), obciążenia treningowe kształtujące szybkość (training loads – speed), obciążenia treningowe kształtujące wytrzymałość (training loads – endurance), obciążenia treningowe kształtujące siłę mięśniową (training loads – strength) oraz obciążenia treningowe kształtujące technikę i rytm płotkarski (training loads – technique and rhythm). Wartości poszczególnych wejść systemu ustawia się za pomocą odpowiednio wyskalowanych suwaków.



Rysunek 1: Aplikacja iHurdling z aktywnym panelem "predykcja rezultatu"

W ostatnim obszarze oznaczonym jako "Results" znajdują się dwa pola tekstowe `textOutput` wyświetlające bieżący i przewidywany wynik. Predykcja wyniku następuje automatycznie po zmianie pozycji któregośkolwiek z suwaków. Co więcej, wynik zależy od przycisku wyboru, który wskazuje metodę predykcyjną z menu paska bocznego. W ten sposób użytkownik może modyfikować obciążenia treningowe i obserwować zmiany, które występują w oczekiwanym wyniku. Generowanie raportu z predykcji rezultatów tworzy plik `.pdf`, który zawiera wartości ze wszystkich suwaków wraz z przewidywanym wynikiem. Kolejnym panelem systemu jest panel do generowania obciążeń treningowych dla obu konkurencji biegu przez płotki. Moduł ten składa się z dwóch obszarów: "Athletes' parameters" oraz "Generated training - annual cycle". Pierwszy obszar służy do wprowadzania danych zawodnika tj. wieku, wysokości ciała, masy ciała oraz jego aktualnego rezultatu. W obszarze tym znajduje się również opcja wyboru trybu generowania treningu. Użytkownik może wybrać opcję generowania jednego treningu ("one training") lub opcję generowania

obciążeń treningowych na dłuższy okres kariery ("career"). Wybór pierwszej opcji powoduje, że pod suwakiem z aktualnym rezultatem pojawi się suwak z rezultatem oczekiwanym. W przypadku wyboru opcji "career", suwak ten zostanie zamieniony na suwak z wartością kroku z jakim ma zostać poprawiony rezultat oczekiwany.

Zawartość obszaru "Generated training - annual cycle" zmienia się dynamicznie w zależności od wyboru trybu generowania treningu. Opcja "one training" powoduje wygenerowanie listy obciążeń treningowych wraz z sugerowanymi wartościami. Dodatkowo generowany jest wykres, na którym prezentowane są wartości obciążeń treningowych wyrażonych jako procent wartości maksymalnej danego wyjścia. Drugą opcją jest "career", której wybór powoduje wygenerowanie tabeli zawierającej 10 rocznych planów treningowych oraz 15 wykresów ukazujących zmienność wartości obciążeń na przestrzeni całej kariery. "Career" to dodatkowa opcja, która pozwala generować obciążenia treningowe na sześć kolejnych lat. W tej opcji wynik początkowy jest zawsze stały i wynosi 14.75 s dla konkurencji 100 m i 53 s dla konkurencji 400 m. Wyniki są generowane w formie tabeli, w której każdy wiersz reprezentuje roczny trening oraz w postaci wykresów, gdzie oś X jest oczekiwanym wynikiem, a oś Y jest wartością obciążenia treningowego. Wykresy kariery pozwalają na obserwację zmian poszczególnych obciążeń pod kątem sześcioletniej kariery. Trener może obserwować, które obciążenie należy zwiększyć, które zmniejszyć, a które powinny pozostać na tym samym poziomie. Generowanie raportu z panelu "Generated training" tworzy plik .pdf, który zawiera wartości z pola "Athlete's parameters" oraz tabelę z jednym lub sześcioma rocznymi cyklami szkoleniowymi w zależności od rodzaju generowania obciążeń treningowych.

Innym ważnym aspektem wspomagania i kontroli procesu treningowego jest ocena poziomu kondycyjnego zawodnika. W pracy *Predictive modeling of VO<sub>2</sub>max based on 20 m shuttle run test for young healthy people* skupiłem się na wykorzystaniu modeli predykcyjnych do szacowania maksymalnego pułapu tlenowego (VO<sub>2</sub>max). Wraz ze współautorami przedstawiłem wyliczone przeze mnie modele matematyczne do prognozowania VO<sub>2</sub>max na podstawie wyniku z 20-metrowego biegu wahadłowego oraz cech somatycznych i składu ciała. Celem pracy było określenie optymalnego modelu predykcyjnego dla zdrowej młodzieży akademickiej. Modele mogą być stosowane np. przez nauczyciela wychowania fizycznego do monitorowania wydolności krążeniowo-oddechowej lub przez trenera do monitorowania postępów treningu kondycyjnego. Jak wynikało z przeprowadzonego przeglądu literatury są to pierwsze ba-

dania dla tak dużej grupy ( $N = 308$ ) przy użyciu bezpośredniego pomiaru gazometrii. Dane zebrano na pięciu dużych uczelniach w różnych częściach Polski (Rzeszów, Lublin, Kraków, Poznań). Badania wykonano w dwóch etapach i ostatecznie do badań zakwalifikowano 154 kobiety i 154 mężczyzn, których poddano 20-metrowemu biegowemu testowi wahadłowemu wyznaczając maksymalny pobór tlenu ( $VO_2\max$ ) przy użyciu przenośnego ergospirometru K4b<sup>2</sup>. Przed przystąpieniem do testu wysiłkowego przeszkolony zespół badawczy dokonał pomiarów antropometrycznych. W pracy zastosowano modele typu multiple-input single-output (MISO). Podczas wyliczania modeli wykorzystano klasyczne modele regresji, regularyzowane modele regresji oraz sztuczne sieci neuronowe. Wszystkie modele wyznaczono w środowisku R. Zaprezentowane metody wykorzystano do wyliczenia modeli ze wszystkich zmiennych oraz dla podzbiorów zmiennych otrzymanych po zastosowaniu wybranych procedur redukcyjnych zmiennych zbioru wejściowego. Procedury "variable selection" stosowane są, gdy istnieje duża liczba potencjalnych zmiennych predykcyjnych, a co za tym idzie duża liczba możliwych do wyliczenia równań (rozwiązań zbiorów wejściowych). Procedury te wprowadzają lub usuwają pojedyncze zmienne z równania i polegają na badaniu tylko podzbioru wszystkich możliwych równań. W analizie zastosowano cztery różne procedury selekcji: regresję LASSO, Stepwise Forward Regression, Stepwise Backward Regression oraz Stepwise Regression. Wszystkie wyznaczone w pracy modele zostały przetestowane za pomocą krosvalidacji LOOCV.

Analizując wyniki otrzymane dla modeli wyznaczonych ze wszystkich zmiennych zauważa się, że najdokładniejszy model dla kobiet uzyskano stosując sztuczną sieć neuronową typu RBF z 8 neuronami w warstwie ukrytej ( $RMSE_{CV} = 4.31$  [ml/kg/min]). Najlepszy model dokonujący predykcji wśród mężczyzn na podstawie całego zbioru zmiennych generuje błąd  $RMSE_{CV} = 5.50$  [ml/kg/min] i został wyliczony za pomocą regresji Ridge. Podobną sytuację obserwuje się dla najdokładniejszego modelu dla wszystkich danych, gdzie również regresja Ridge generuje najmniejszy błąd ( $RMSE_{CV} = 4.89$  [ml/kg/min]). Kolejnym etapem analizy było zastosowanie metod variable selection celem poprawy zdolności predykcyjnych prezentowanych modeli oraz wyznaczenie optymalnych zbiorów wejściowych, a co za tym idzie określenie czynników determinujących predykcję  $VO_2\max$  w analizowanej grupie. Zastosowanie metod variable selection poprawiło zdolności predykcyjne modelu OLS. Dla grupy kobiet uzyskano błąd na poziomie  $RMSE_{CV} = 4.11$  [ml/kg/min] stosując metodę bidirectional, natomiast dla mężczyzn najdokładniej-

szym okazał się model uzyskany po zastosowaniu metody regresji forward selection  $RMSE_{CV} = 5.35$  [ml/kg/min], dla wszystkich danych metody forward i bidirectional wyznaczyły te same zbiory wejściowe, dla których model generował błąd  $RMSE_{CV} = 4.78$  [ml/kg/min]. Po określeniu optymalnych zbiorów wejściowych wykorzystano je do wyliczenia nowych sieci neuronowych. Sieci neuronowe dla wyselekcjonowanych zmiennych charakteryzują się mniejszym błędem predykcji od sieci wyznaczonych ze wszystkich zmiennych. Modele RBF generują odpowiednio  $RMSE_{CV} = 4.07$  [ml/kg/min] dla grupy kobiet,  $RMSE_{CV} = 5.30$  [ml/kg/min] dla grupy mężczyzn oraz  $RMSE_{CV} = 4.80$  [ml/kg/min] dla wszystkich zmiennych. Otrzymane modele dla kobiet i mężczyzn charakteryzują się najmniejszym dopasowaniem spośród wszystkich rozpatrywanych modeli, natomiast model dla wszystkich danych jest gorszy od modelu OLS (forward, bidirectional). Optymalny model dla całej grupy (kobiet i mężczyzn) generuje błąd na poziomie  $RMSE_{CV} = 4.78$  [ml/kg/min] wykorzystując do predykcji: płeć, dystans 20-metrowego testu wahadłowego, wysokość ciała oraz zawartość tkanki tłuszczowej. Najlepszy model wyliczony dla kobiet zawiera te same predykatory i generuje błąd na poziomie  $RMSE_{CV} = 4.07$  [ml/kg/min]. Model dla mężczyzn generuje błąd  $RMSE_{CV} = 5.30$  [ml/kg/min] i dokonuje predykcji na podstawie zmiennych: dystans 20-metrowego, obwód talii oraz wskaźników WHR, FFMI (fat free mass index) i BSA (Body Surface Area).

Trzeci typ modelowania komputerowego dotyczący analizy kinematycznej zaprezentowałem w pracy pt. *A system for analysing the basketball free throw trajectory based on particle swarm optimization*. W pracy tej wykorzystano algorytmy wizji komputerowej opierające się na algorytmie optymalizacji rojem cząstek. Zaproponowana metoda pozwala na pomiar wybranych parametrów trajektorii lotu piłki podczas rzutu osobistego w koszykówce. Celem badań była ocena metody wyznaczania parametrów trajektorii oraz porównanie wyznaczonych parametrów dla rzutów celnych i niecelnych. W analizie uwzględniono dziesięć parametrów (cztery odległości, trzy prędkości i trzy kąty). Parametry te określono dla trzech kluczowych momentów:  $P_1$  – moment, w którym piłka opuszcza dłoń zawodnika,  $P_2$  – najwyższy punkt trajektorii lotu piłki oraz  $P_3$  – moment, w którym piłka przekracza linię wysokości obręczy lub gdy dotyka tablicy. Materiał badawczy obejmował 200 sekwencji (rzutów osobistych) zarejestrowanych kamerą o częstotliwości 100 Hz. Badanie wykonano na grupie 30 koszykarzy w wieku  $18.8 \pm 2.3$  lat. Grupę zawodników tworzyła młodzieżowa reprezentacja Polski oraz sportowcy grający w II lidze. Wyniki przeprowadzonej



analizy wykazały, że parametry trajektorii rzutów celnych i niecelnych różnią się między sobą istotnie ( $p < 0.001$ ). Dodatkowo analiza wykazała korelację pomiędzy wysokością ciała zawodników a wybranymi parametrami trajektorii. Proponowana metoda analizy trajektorii może znaleźć zastosowanie w praktyce przez trenerów jako narzędzie do poprawy skuteczności rzutów osobistych. Trenerzy korzystający z tego systemu będą mieli możliwość monitorowania parametrów rzutu, co pomoże poprawić prawidłowy nawyk ruchowy. Może również wyeliminować niektóre błędy techniczne zawodnika wykonującego rzut osobisty.

## Literatura

- [1] F. Abut and M. F. Akay. Determination of the variables affecting the maximal oxygen uptake of cross-country skiers by using machine learning and feature selection algorithms. In *Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2015 23th*, pages 156–159. IEEE, 2015.
- [2] F. Abut and M. F. Akay. Machine learning and statistical methods for the prediction of maximal oxygen uptake: recent advances. *Medical Devices (Auckland, NZ)*, 8:369, 2015.
- [3] M. F. Akay, N. Ghahremanlou, E. Aktürk, J. George, and E. Aktarla. Performance comparison of different regression methods for vo2max prediction. In *7th International Symposium on Electrical and Electronics Engineering and Computer Systems. Lefka, North Cyprus*, pages 7–11, 2012.
- [4] M. F. Akay, G. Özsert, and J. George. Prediction of maximal oxygen uptake using support vector machines from submaximal data. *DEÜ Eng Fac Eng Sci J*, 16(483):42–48, 2014.
- [5] E. Aktürk and M. F. Akay. Prediction of maximal oxygen uptake using multilayer perceptron combined with feature selection. In *7th Engineering and Technology Symposium. Ankara, Turkey; Cankaya University*, pages 3–6, 2014.
- [6] S. Arlot and A. Celisse. A survey of cross-validation procedures for model selection. *Statistics Surveys*, 4:40–79, 2010.
- [7] J. D. Bartlett, F. O'Connor, N. Pitchford, L. Torres-Ronda, and S. J. Robertson. Relationships between internal and external training load in team sport

- athletes: Evidence for an individualised approach. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(2):1–20, 2016.
- [8] C. M. Bishop. *Pattern Recognition and Machine Learning*. Information Science and Statistics. Springer-Verlag New York, Inc., Secaucus, NJ, USA, 2006.
- [9] P. Chatterjee, A. K. Banerjee, P. Das, and P. Debnath. A regression equation for the estimation of maximum oxygen uptake in nepalese adult females. *Asian journal of sports medicine*, 1(1):41, 2010.
- [10] P. Chatterjee, A. K. Banerjee, P. Dasb, and P. Debnath. A regression equation to predict VO2 Max of young football players of Nepal. *International Journal of Applied Sports Sciences*, 21(2):113–121, 2009.
- [11] J. Cholewa. *Sterowanie procesem treningowym młodych pływaków*. Akademia Wychowania Fizycznego, 2009.
- [12] J. Edelmann-Nusser, A. Hohmann, and B. Henneberg. Modeling and prediction of competitive performance in swimming upon neural networks. *European Journal of Sport Science*, 2(2):1–10, 2002.
- [13] M. Haghghat, H. Rastegari, and N. Nourafza. A review of data mining techniques for result prediction in sports. *Advances in Computer Science: an International Journal*, 2(5):7–12, 2013.
- [14] A. Hassan, N. Schrapf, W. Ramadan, and M. Tilp. Evaluation of tactical training in team handball by means of artificial neural networks. *Journal of Sports Sciences*, 35(7):642–647, 2017.
- [15] T. Hastie, R. Tibshirani, and J. Friedman. *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*. Springer Series in Statistics. Springer, 2009.
- [16] J. Iskra and I. Ryguła. The optimization of training loads in high class hurdlers. *Journal of Human Kinetics*, 6:59–72, 2001.
- [17] G. James, D. Witten, T. Hastie, and R. Tibshirani. *An introduction to statistical learning*, volume 112. Springer, 2013.

- [18] B. Kwolek. Object tracking via multi-region covariance and particle swarm optimization. *11th IEEE Int. Conf. on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS)*, 0:418–423, 2009.
- [19] D. Lapkova, M. Pluhacek, Z. Kominkova Oplatkova, and M. Adamek. Using artificial neural network for the kick techniques classification – an initial study. In *Proceedings 28th European Conference on Modelling and Simulation ECMS*, pages 382–387, 2014.
- [20] M. T. Mahar, A. M. Guerieri, M. S. Hanna, and C. D. Kemble. Estimation of aerobic fitness from 20-m multistage shuttle run test performance. *American journal of preventive medicine*, 41(4):S117–S123, 2011.
- [21] A. Maszczyk, A. Zajac, and I. Ryguła. A neural network model approach to athlete selection. *Sports Engineering*, 13(2):83–93, 2011.
- [22] V. Papić, N. Rogulj, and V. Pleština. Identification of sport talents using a web-oriented expert system with a fuzzy module. *Expert Systems with Applications*, 36(5):8830–8838, 2009.
- [23] J. Perl, A. Grunz, and D. Memmert. Tactics analysis in soccer—an advanced approach. *International Journal of Computer Science in Sport*, 12(2013):33–44, 2013.
- [24] M. Pfeiffer and A. Hohmann. Applications of neural networks in training science. *Human Movement Science*, 31(2):344–359, 2012.
- [25] M. Pfeiffer and J. Perl. Analysis of tactical structures in team handball by means of artificial neural networks. *International Journal of Computer Science in Sport*, 5(1):4–14, 2006.
- [26] L. Riza, C. Bergmeir, F. Herrera, and J. Benítez. frbs: Fuzzy rule-based systems for classification and regression in r. *Journal of Statistical Software, Articles*, 65(6):1–30, 2015.
- [27] R. Roczniok, A. Maszczyk, A. Stanula, M. Czuba, P. Pietraszewski, J. Kantyka, and M. Starzyński. Physiological and physical profiles and on-ice performance approach to predict talent in male youth ice hockey players during draft to hockey team. *Isokinetics and Exercise Science*, 21(2):121–127, 2013.

- [28] R. Rocznik, I. Ryguła, and A. Kwaśniewska. The use of Kohonen's neural networks in the recruitment process for sport swimming. *Journal of Human Kinetics*, 17:75–88, 2007.
- [29] I. Ryguła. Neural models as tool of sport prediction. *Journal of Human Kinetics*, 4(1):133–146, 2000.
- [30] I. Ryguła. *Narzędzia analizy systemowej treningu sportowego*. Akademia Wychowania Fizycznego, Katowice, 2002.
- [31] I. Ryguła. Artificial neural networks as a tool of modeling of training loads. In *Engineering in Medicine and Biology Society, 2005. IEEE-EMBS 2005. 27th Annual International Conference of the*, pages 2985–2988, Jan 2005.
- [32] A. J. Silva, A. M. Costa, P. M. Oliveira, V. M. Reis, J. Saavedra, J. Perl, A. Rouboa, and D. A. Marinho. The use of neural network technology to model swimming performance. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6(1):117–125, 2007.
- [33] D. R. Silva, A. O. Werneck, P. J. Collings, D. Ohara, R. A. Fernandes, D. S. Barbosa, E. R. Ronque, L. B. Sardinha, and E. S. Cyrino. Cardiorespiratory fitness effect may be under-estimated in 'fat but fit' hypothesis studies. *Annals of human biology*, 44(3):237–242, 2017.
- [34] G. Silva, N. L. Oliveira, L. Aires, J. Mota, J. Oliveira, and J. C. Ribeiro. Calculation and validation of models for estimating vo2max from the 20-m shuttle run test in children and adolescents. *Archives of Exercise in Health and Disease*, 3(1-2):145–152, 2012.
- [35] L. Van Horn, M. Cuomo, S. Huntbach, A. O'Donel, C. Mullin, J. Sanders, and W. Braun. Comparison of astrand vo2 max prediction to a graded leg ergometry vo2 max test in endurance athletes. In *International Journal of Exercise Science: Conference Proceedings*, volume 9, page 104, 2016.
- [36] R. Wilk, O. Fidos-Czuba, Ł. Rutkowski, K. Kozłowski, P. Wiśniewski, A. Maszczyk, A. Stanula, and R. Rocznik. Predicting competitive swimming performance. *Central European Journal of Sport Sciences and Medicine*, 9(1):105–112, 2015.

## 5 Pozostałe osiągnięcia naukowo–badawcze

### 5.1 Podstawowe dane bibliometryczne

- Łączny Impact Factor: 13.677
- Punkty MNiSW (po doktoracie): 399
- Punkty MNiSW przed i po doktoracie: 450
- Index Hirscha (Web of Science): 3
- Index Hirscha (Scopus): 2
- Index Hirscha (google schoalr): 3
- Liczba cytowań wyłączając autocytowania (Web o Science): 13
- Liczba cytowań wyłączając autocytowania (Scopus): 10
- Liczba cytowań wyłączając autocytowania (google scholar): 33

Tabela 2: Klasyfikacja wraz z punktacją dorobku naukowego wypracowanego po uzyskaniu stopnia doktora nauk o kulturze fizycznej

Typ publikacji	2015		2016		2017		2018		2019*		Razem	
	n	pkt	n	pkt	n	pkt	n	pkt	n	pkt	n	pkt
Czasopisma naukowe												
Lista A	2	30	2	40	1	15	3	75	-	-	8	160
IF	1.565		3.345		1.174		7.593		-		13.677	
Lista B	2	12	4	32	1	12	3	33	2	20	12	109
Spoza list	-	-	1	0	-	-	-	-	-	-	1	0
Materiały pokonferencyjne												
Indeksacja Wos	2	30	1	15	-	-	3	45	-	-	6	90
Indeksacja Scopus	2	0	-	-	3	0	1	0	-	-	6	0
Bez indeksacji	-	-	4	0	-	-	-	-	-	-	4	0
Pozostałe publikacje												
Monografie naukowe	-	-	-	-	-	-	-	-	1	25	1	25
Rozdziały w monografiach	-	-	-	-	2	10	-	-	1	5	3	15
<b>Razem</b>	<b>8</b>	<b>72</b>	<b>12</b>	<b>87</b>	<b>7</b>	<b>37</b>	<b>10</b>	<b>154</b>	<b>4</b>	<b>50</b>	<b>41</b>	<b>399</b>

\* - stan na 10/04/2019

## 5.2 Pozostałe prace z indeksacją JCR (nie uwzględnione w osiągnięciu naukowym)

- Krzeszowski T., **Przednowek K.**, Wiktorowicz K., Iskra K.: Estimation of hurdle clearance parameters using a monocular human motion tracking method. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*. 2016, 19(12):1319-1329. [IF=1.909, MNiSW=25]
- **Przednowek, K.**, Iskra, J., Wiktorowicz, K., Krzeszowski, T., Maszczyk, A. (2017). Planning training loads for the 400 m hurdles in three-month mesocycles using artificial neural networks. *Journal of Human Kinetics*, 60, 175-189. [IF=1.174, MNiSW=15]
- Grycmann, P., Maszczyk, A., Socha, T., Gołaś, A., Wilk, M., Zając, T., **Przednowek, K.** (2015). Modelling analysis and prediction of women javelin throw results in the years 1946–2013. *Biol Sport*, 32(4), 345-350. [IF=1.135, MNiSW=15]

## 5.3 Tematyka pozostałych prac badawczych

Moje główne zainteresowania naukowe skoncentrowane są na tematyce wykorzystania metod komputerowych w kulturze fizycznej. Problematyka wykorzystania informatyki w sporcie przewija się w większości z moich prac. Część z nich dotyczy analizy rozwoju wyniku sportowego. Przykładem takich badań była praca, w której wraz ze współautorami przewidywaliśmy wyniki w rzucie oszczepem na podstawie danych ze wcześniejszych imprez sportowych. Praca została opublikowana w periodyku *Biology of Sport* pt. *Modelling analysis and prediction of women javelin throw results in the years 1946–2013*. Główne cele badań nad wynikami rzutu oszczepem kobiet to po pierwsze, analiza dynamiki zmienności wyników w funkcji czasu (okres 1946–2014), po drugie, stworzenie modelu predykcyjnego dla nadchodzących 4 lat. Materiał do badań składał się z baz danych obejmujących kobiece imprezy lekkoatletyczne. Przed przewidywaniem wielkości dynamiki zmian wyników w czasie, który należy wykonać, dostosowano funkcję trendu do danych empirycznych. Faza II badania obejmowała budowę modeli predykcyjnych. Największe spadki indeksów wyników odnotowano w 2000 r. (9,4%), w latach 2005-2006 (8,7%) i 2009 (7,4%). Wzrost tendencji odnotowano jedynie w latach 2006–2008, a do 1998 r. średni wy-

nik poprawił się o 54,6% (100% - wyniki z 1946 r.). Od 1999 r. do 2011 r. wynik wzrósł jedynie o 1,3%. Procentowa poprawa odległości rzutu oszczepem obliczona na podstawie danych wejściowych z roku 1999 wynosi 1,4 %.

Badania analizy zmienności wyniku sportowego to również cykl prac dotyczących karier najlepszych zawodników z Polski i świata trenujących dziesięciobój lekkoatletyczny. Jedną z bardziej znaczących prac z tego zakresu jest praca pt. *The development of the sports careers of the best decathletes in the world and in Poland in the years 1985–2015*. Materiał badawczy obejmował dane przebiegu karier 25 najlepszych zawodników z Polski startujących w latach 1985–2015 z uwzględnieniem wyników metrycznych oraz wyników punktowych w 10 konkurencjach składowych. W badaniach wykorzystano analizę składowych głównych (metodę PCA). Przeprowadzona analiza danych obejmowała wyznaczenie korelacji pomiędzy konkurencjami cząstkowymi, określenie liczby składowych głównych uwzględnionych w dalszych badaniach, analizę wkładu poszczególnych zmiennych w tworzeniu składowych głównych oraz wizualizację i interpretację wyników w nowej przestrzeni opisanej przez wyznaczone składowe główne. Zastosowanie metody PCA w analizie umożliwiło opisanie ponad 69% zmienności zebranych danych przy wykorzystaniu trzech pierwszych składowych. Największy udział w całkowitej wariancji ma pierwsza składowa główna, którą tworzy aż siedem zmiennych. Badanie zależności pomiędzy zmiennymi w nowej przestrzeni wykazało silne zależności pomiędzy sprinterskimi konkurencjami biegowymi (100 m, 110 m ppł), a skokami w dal oraz o tyczce.

Kolejny obszar moich zainteresowań naukowych dotyczy wykorzystania metod wizji komputerowej w ocenie techniki wykonywanego ruchu. W obrębie tego obszaru opublikowałem prace dotyczące m.in. oceny techniki pokonywania płotków. Jedną z bardziej znaczących prac z tego zakresu jest praca pt. *Estimation of hurdle clearance parameters using a monocular human motion tracking method*, której głównym celem była weryfikacja skuteczności stosowania metod wizji komputerowej w ocenie techniki pokonywania płotka. W pracy tej przeprowadzono analizę techniki kroku płotkowego pięciu zawodników na różnym poziomie wytrenowania. Pośród zawodników znajdował się czterokrotny wicemistrz Polski oraz dwukrotny młodzieżowy mistrz Polski. Badania zostały przeprowadzone na obiektach sportowych Politechniki Opolskiej. Podczas badań, zarejestrowano sekwencje pokonywania czwartego płotka w warunkach startowych biegu przez płotki na 110 m (wysokość płotka: 1.067 m, odległość pomiędzy płotkami: 9.14 m). Dla każdego płotkarza za-

rejestrowano dwie próby pokonania płotka. W analizie uwzględniono 21 parametrów geometrycznych, dobranych na podstawie przeglądu literatury. Osiem spośród wspomnianych parametrów to parametry kątowe, natomiast 13 to parametry odległościowe. Dane odniesienia potrzebne do wyznaczenia błędów zostały uzyskane przez manualne dopasowanie modelu 3D do zawodników na obrazach prezentujących pięć punktów kluczowych, które odpowiadały pięciu fazom charakterystycznym dla analizy kroku płotkowego. Dodatkowo obliczono odległość  $d_c$  i czas  $t_c$  kroku płotkowego. Sekwencje zostały zarejestrowane przy pomocy 100 Hz kamery przemysłowej Basler serii Ace. W pracy oprócz wartości poszczególnych parametrów wyznaczono również trajektorie wybranych segmentów. Bezmarkerowa metoda śledzenia ruchu została przebadana na 10 sekwencjach. Dokładność śledzenia została zweryfikowana na podstawie wizualnej oceny dopasowania zrzutowanego modelu 3D do postaci na obrazach oraz analizy błędów wyliczonych na podstawie danych odniesienia. Wyniki zostały osiągnięte przez algorytm PSO z wykorzystaniem 500 cząstek i 20 iteracji. Najmniejszy błąd dla parametrów odległościowych uzyskano dla odległości pomiędzy stopą a płotkiem w pierwszej fazie (1%, 25.8 mm). Jednakże, w przypadku kątów, najmniejszy błąd równy 2.3% (2.9°), został zaobserwowany dla kąta nogi zakroczonej względem podłoża. Opublikowanie i zweryfikowanie tej metody umożliwiło jej szersze zastosowanie w kolejnych analizach biomechanicznych. Kolejnymi badaniami z tego zakresu była praca pt. *Evaluation of kinematic parameters of hurdles clearance during fatigue in men's 400m hurdles — research using the method of computer vision*, w której skupiłem się nad wpływem zmęczenia na technikę pokonywania płotka. Badaniem objęto czterech płotkarzy w wieku od 24 do 25 lat, którzy trenowali w akademickich klubach sportowych. Analiza została przeprowadzona za pomocą oryginalnego testu autorskiego przygotowanego na potrzeby eksperymentu. Podczas testu każdy zawodnik wykonał dwie próby biegu przez płotki. W pierwszej próbie pokonywał on pięć płotków (na wirażu), a po wykonaniu biegu na 200 m i jednonumutowym odpoczynku, wykonywał drugą próbę pokonania pięciu płotków (również na wirażu). Odległość między płotkami wynosiła dziesięciokrotność wysokości zawodnika. Badania miały charakter pilotażowy i przyczyniły się do zainicjowania większego projektu, który jest w trakcie realizacji.

Na uwagę zasługuje również praca pt. *The analysis of hurdling steps using an algorithm of computer vision: the case of a well-trained athlete*, w której również zastosowano metodę śledzenia do oceny parametrów kinematycznych kroku płot-



kowego. W pracy tej o charakterze studium przypadku, dokonano oceny techniki jednego z czołowych zawodników ówczesnej kadry narodowej. Otrzymane wyniki potwierdziły wysoki poziom przebadanego zawodnika.

W moich badaniach wykorzystywałem również zaawansowaną aparaturę do oceny techniki kopnięcia czy też do oceny techniki wykonywania ćwiczeń specjalnych w treningu płotkarskim. Podczas badań nad techniką kopnięcia (artykuł pt. *Analysis of time-space parameters of the front kick using the example of an athlete training in Muay Thai*) wraz z zespołem badawczym wykorzystaliśmy zaawansowany system motion capture BTSSMART DX 6000 składający się z sześciu kamer, które odczytały pozycję 22 markerów umieszczonych na ciele sportowca. Głównym celem tego artykułu była analiza kinematyczna kopnięcia frontального wykonywanego przez zawodnika trenującego Muay-Thai (wiek: 32 lata, masa ciała: 71 kg; wzrost: 173 cm). Praca przedstawia prędkości stopy i kolana podczas kopnięcia w powietrze i podczas kopnięcia w cel. Przeprowadzona analiza wykazała, że zaobserwowane różnice w wielkości przypadków wykazały istotność statystyczną. Innym typem systemów analizy ruchu wykorzystywanym w moich badaniach były nowatorskie systemy oparte na czujnikach bezwładnościowych. To właśnie m.in. w pracy pt. *Kinematic analysis of the upper limbs in stepping over the hurdle – The use of IMU-based motion capture* opublikowałem wyniki pierwszych badań dotyczących techniki pracy kończyn górnych podczas pokonywania płotka w marszu. Celem pracy była ocena prędkości liniowych wybranych segmentów kończyn górnych płotkarzy w czasie pokonywania płotka w marszu. Oceny parametrów kinematycznych dokonano w oparciu o ćwiczenia wykonywane nogą lepszą (dominującą) oraz gorszą. W badaniu wzięło udział dwóch zawodników trenujących biegi przez płotki (wiek: 26 i 28 lat, masa ciała: 80 i 74 kg, wysokość ciała: 1.85 i 1.84 m). Analiza kinematyczna obejmowała ćwiczenia specjalne wykonywane w marszu. Każdy z zawodników wykonywał dwie próby marszu przez płotki. W pierwszej próbie pokonywał płotek nogą lepszą, czyli nogą, którą częściej pokonuje płotek na dystansie 400 m przez płotki. Przeprowadzona analiza wykazała, że w większości przypadków próba na lepszą nogę charakteryzowała się większymi prędkościami w analizowanych fazach.

Znaczącym osiągnięciem jest również książka mojego współautorstwa, która powstała w ramach realizacji grantu N RSA4 00554 (szczegóły grantu w następnej sekcji). Książka przygotowana jest przez cały zespół projektu kierowanego przez moją osobę. Praca zatytułowana *Wspomaganie procesu treningowego w biegach przez*

*plotki z wykorzystaniem modelowania komputerowego* porusza problem wspomagania procesu treningowego w biegach przez płotki z wykorzystaniem metod modelowania komputerowego. W pracy uwzględniono dwa ważne aspekty programowania treningu płotkarzy na wysokim poziomie zaawansowania. Pierwszy to optymalizacja obciążeń treningowych w różnych okresach szkolenia oraz na różnym poziomie zaawansowania zawodniczego. Uwzględnienie 15 podstawowych grup środków treningowych w długookresowym (od kilku do kilkunastu lat) cyklu szkolenia pozwoliło na skonstruowanie modelowych rozwiązań. Drugi aspekt badawczy uwzględniony w publikacji to problemy techniki ruchu, z akcentem na analizę ćwiczeń startowych (bieg przez płotki) i ćwiczeń specjalnych (marsze przez płotki). Autorzy unikają stosowania jednego schematu badań, wykorzystując (w zależności od potrzeb i możliwości) różne metody i techniki. W związku z powyższym, w analizie wykorzystano możliwości informatyczne w ocenie ruchu sportowca (metody wizji komputerowej), klasyczne metody analizy kinematycznej, czujniki bezwładnościowe, a także opracowano oryginalny test wysiłkowy symulujący zmęczenie w biegu na 400 m przez płotki. Wykorzystany materiał badawczy to grupa najlepszych Polskich płotkarzy ostatnich lat – olimpijczycy, medaliści mistrzostw świata i Europy. Analizowano przebieg całej kariery sportowej od juniora do rekordowych wyników.

#### **5.4 Granty i projekty badawcze**

W okresie od 2016 do 2019 byłem kierownikiem grantu MNiSW Rozwój Sportu Akademickiego, projekt pt. *Wspomaganie procesu treningowego w biegach przez płotki z wykorzystaniem modelowania komputerowego*, o numerze N RSA4 00554. W ramach projektu przeprowadzono wiele eksperymentów z zakresu wspomagania szkolenia sportowego płotkarzy na 110 i 400 m. Rozważono dwa kierunki badań opartych na analizie i planowaniu obciążeń treningowych oraz na diagnozowaniu techniki pokonywania płotka z wykorzystaniem nowoczesnych metod motion-capture. Efektem realizacji grantu jest publikacja 14 artykułów naukowych oraz jedna publikacja zwarta, której wydanie zaplanowane jest na drugą połowę 2019 roku. W projekcie kierowałem czteroosobowym międzyuczelnianym zespołem badawczym, w którego skład wchodził prof. dr hab. Janusz Iskra, dr inż. Krzysztof Wiktorowicz i dr inż. Tomasz Krzeszowski.

Dodatkowo byłem wykonawcą w innym projekcie MNiSW Rozwój Sportu Akademickiego pt. *Wybrane aspekty zdrowia studentów w świetle ich aktywności fizycz-*

nej i wytrzymałości krążeniowo-oddechowej; *E-Platforma Studentifit jako narzędzie edukacji zdrowotnej studentów*. W projekcie tym opracowywałem modele predykcyjne  $VO_2max$  wykorzystywane w aplikacji mobilnej służącej do przeprowadzania 20-metrowego biegowego testu wahadłowego. Innym bardzo ważnym projektem, w którym byłem jednym z głównych wykonawców był międzynarodowy projekt Programu Współpracy Transgranicznej INTERREG V-A, Polska-Słowacja 2014-2020 finansowany z Europejskich Funduszy Rozwoju Regionalnego. W projekcie tym przeprowadzałem i opracowywałem badania terenowe dotyczące identyfikacji potrzeb związanych z rozwojem turystyki wiejskiej.

Moja działalność naukowa związana jest również z kierownictwem projektów naukowych realizowanych w ramach badań statutowych Wydziału Wychowania Fizycznego Uniwersytetu Rzeszowskiego. W roku 2018 byłem kierownikiem projektu pt. Kontrola procesu treningowego zawodników na różnym poziomie wytrenowania (WWF/PB/15/2018), natomiast w roku 2016 kierowałem projektem pt. Wieloaspektowe wspomaganie procesu treningowego (WWF/PB/9).

## 5.5 Czynny udział w kongresach i konferencjach naukowych

Po obronie doktoratu uczestniczyłem czynnie w 10 międzynarodowych konferencjach lub kongresach naukowych w Portugalii, Grecji, Włoszech, Hiszpanii oraz Polsce. Moim największym sukcesem podczas dotychczasowych wystąpień podczas konferencji naukowych było otrzymanie głównej nagrody *Best Poster Award* podczas konferencji International Congress on Sports Sciences Research and Technology Support (icSports 2016) w Porto. Praca pt. *A Fuzzy-based software tool used to predict 110m hurdles results during the annual training cycle* została wyróżniona przez międzynarodową komisję. Innym bardzo ważnym osiągnięciem było wystąpienie na konferencji International Conference on Technology and Innovation in Sports, Health and Wellbeing w Salonikach w 2018 roku, gdzie prezentowałem pracę pt. *Estimation of  $VO_2max$  based on 20 m shuttle run test using statistical learning methods: An example of male physical education students*. Dzięki wystąpieniu nawiązałem międzynarodową współpracę naukową z University of Trás-os-Montes and Alto Douro co zaowocowało zaproszeniem na wizytę szkoleniową w ramach Erasmus+, która odbyła się w kwietniu 2019 roku.

17.04.2019

Krzysztof Przednowek