

AKADEMIA WYCHOWANIA FIZYCZNEGO
IM. J. KUKUCZKI W KATOWICACH

WYDZIAŁ WYCHOWANIA FIZYCZNEGO

Bartosz Dziadek

**WPLYW POSZCZEGÓLNYCH KONKURENCJI
NA KOŃCOWY WYNIK DZIESIĘCIOBOJU LEKKOATLETYCZNEGO
NA RÓŻNYCH ETAPACH KARIERY SPORTOWEJ**

Opiekun naukowy:

prof. dr hab. Janusz Iskra

Opiekun pomocniczy:

dr inż. Krzysztof Przednowek

KATOWICE 2019

SKŁADAM SŁOWA WDZIĘCZNOŚCI I SERDECZNE PODZIĘKOWANIA
PROMOTOROWI **PROF. DR HAB. JANUSZOWI ISKRZE**
ORAZ
PROMOTOROWI POMOCNICZEMU
DR INŻ. KRZYSZTOFOWI PRZEDNOWKOWI
ZA CENNE WSKAZÓWKI I POMOC UDZIELONĄ PRZY PISANIU PRACY

SPIS TREŚCI

WSTĘP.....	5
WYKAZ SKRÓTÓW	6
1. WPROWADZANIE TEORETYCZNE	7
1.1. Charakterystyka dziesięcioboju	7
1.2. Badania naukowe w dziesięcioboju	13
2. MATERIAŁ I METODY	24
2.1. Cel pracy	24
2.2. Pytania badawcze	24
2.3. Materiał badawczy	25
2.4. Metody badawcze.....	26
2.4.1. Protokoły badawcze oraz etapy rozwoju kariery sportowej	26
2.4.2. Metody podstawowe.....	27
2.4.3. Metody analizy wielowymiarowej	27
2.5. Realizacja obliczeń.....	30
3. WYNIKI	31
3.1. Zmiany poziomu wyników lekkoatletycznego dziesięcioboju w trzech okresach rozwoju lekkiej atletyki.....	31
3.2. Zmiany poziomu wyników składowych konkurencji w trzech okresach rozwoju	53
3.3. Zmiany poziomu wyników w składowych konkurencjach dziesięcioboju w zależności od poziomu zaawansowania.....	57
3.4. Zależności między składowymi konkurencjami dziesięcioboju w trzech okresach rozwoju lekkiej atletyki.....	63
3.5. Zależności między składowymi konkurencjami dziesięcioboju na czterech etapach rozwoju mistrzostwa sportowego.....	69
3.6. Analizy wielowymiarowe w ocenie struktury lekkoatletycznego wieloboju mężczyzn.....	76
3.7. Zmiany poziomu sportowego i struktury wieloboju w kolejnych latach rozwoju mistrzostwa sportowego.....	113

3.7.1. Modele teoretyczne kariery zawodniczej	113
3.7.2. Modele teoretyczne przyrostów punktowych w poszczególnych konkurencjach składowych dziesięcioboju	117
4. DYSKUSJA	120
4.1. Analiza porównawcza zmian poziomu wyników lekkoatletycznego dziesięcioboju oraz wyników cząstkowych w trzech okresach rozwoju lekkiej atletyki	120
4.2. Analiza porównawcza zmian struktury lekkoatletycznego dziesięcioboju z uwzględnieniem trzech okresów rozwoju lekkiej atletyki	122
4.3. Analiza porównawcza struktury lekkoatletycznego dziesięcioboju z uwzględnieniem etapów rozwoju kariery sportowej	125
4.4. Porównanie wyników analiz wielowymiarowych w badaniach nad strukturą dziesięcioboju.....	128
4.5 Modele teoretyczne przebiegu kariery dziesięciobojowej	132
5. WNIOSKI	134
LITERATURA.....	136
ANEKS	144
SPIS TABEL.....	154
SPIS RYCIN	158
STRESZCZENIE.....	162
SUMMARY	165

WSTĘP

Dziesięciobój to prawdopodobnie jedna z najtrudniejszych i najbardziej wymagających konkurencji lekkoatletycznych, którą rozgrywa się od ponad 200 lat niemal na całym świecie. Dwudniowa rywalizacja, podczas której odbywają się zawody w dziesięciu różnych (pod względem fizjologicznym, biomechanicznym, wysiłkowym, a także technicznym) konkurencjach, stawia przed zawodnikami oraz trenerami wysokie wymagania. Ograniczenia czasowe związane z wieloetapowym treningiem tak dużej liczby konkurencji składowych sprawiają, że realizacja szkolenia jest trudna i wymaga optymalizacji. Z kolei od zawodników oczekuje się wysokiego poziomu zdolności motorycznych (głównie siła, szybkość, wytrzymałość), dużej odporności na stres oraz perfekcyjnie opanowanej techniki. Ze względu na mnogość czynników wpływających na wyniki uzyskiwane w dziesięcioboju, konkurencja ta stała się przedmiotem badań.

Niniejsza praca składa się z pięciu rozdziałów. W części wprowadzającej opisano rozwój różnorodnych form wielobojowego współzawodnictwa oraz scharakteryzowano dziesięciobój lekkoatletyczny w Polsce i na świecie. Dodatkowo dokonano przeglądu piśmiennictwa dotyczącego treningu i metodyki czy zastosowania zaawansowanych metod matematycznych w badaniach nad strukturą dziesięcioboju. W dalszej części pracy zaprezentowano zebrany materiał badawczy będący podstawą wykorzystanych w toku analiz metod matematycznych i statystycznych. W kolejnym rozdziale przedstawiono wyniki wykonanych obliczeń, a w dyskusji opisano wybrane aspekty związane z analizą wyników. Otrzymane rezultaty i poczynione obserwacje pozwoliły udzielić odpowiedzi na postawione wcześniej pytania badawcze oraz sformułować wnioski.

WYKAZ SKRÓTÓW

W poszczególnych rozdziałach niniejszej pracy w celu uproszczenia opisu samej konkurencji i jej składowych, a także odpowiedniej prezentacji i interpretacji wyników przeprowadzonych analiz, w tabelach, rycinach i tekście zastosowano odpowiednie skróty, których oznaczenia i wyjaśnienie zaprezentowano w tabeli poniżej.

Opis	Wykorzystane skróty
lekkoatletyczny dziesięciobój mężczyzn	10–bój
bieg na 100 m	100 m, B100
skok w dal	w dal, SD
pchnięcie kulą	kula, PK
skok wzwyż	wzwyż, SW
bieg na 400 m	400 m, B400
bieg na 110 m przez płotki	110 m ppł., B110
rzut dyskiem	dysk, RD
skok o tyczce	tyczka, ST
rzut oszczepem	oszczep, RO
bieg na 1500 m	1500 m, B1500
współczynnik korelacji liniowej Pearsona	r_{xy}
współczynnik determinacji	R^2
analiza składowych głównych	PCA
grupa zawodników świata (1-25), okres 1985–2015	WR85_1
grupa zawodników świata (26-50), okres 1985–2015	WR85_2
polska grupa zawodników, okres 1985–2015	PL85
grupa zawodników świata (1-25), okres 1968–1984	WR68_1
grupa zawodników świata (26-50), okres 1968–1984	WR68_2
polska grupa zawodników, okres 1968–1984	PL68
grupa zawodników świata, okres 1960–1967	WR60

1. WPROWADZANIE TEORETYCZNE

1.1. Charakterystyka dziesięcioboju

Wielobój lekkoatletyczny to dyscyplina sportowa rozgrywana już w starożytnej Grecji, która początkowo składała się z pięciu różnych konkurencji, jak: skok w dal, rzut dyskiem, rzut oszczepem, bieg na dystansie 192 m oraz zapasy. Zawodnicy rywalizujący o miano najlepszego sportowca w tej wszechstronnej dyscyplinie (zwanej pentatlonem) wykorzystywali głównie swoją siłę, szybkość, wytrzymałość, a także umiejętności techniczne. Na przestrzeni kilkunastu stuleci wielobojowe formy współzawodnictwa stale ewoluowały i miały różny charakter. Od czasów średniowiecznych aż do XVIII wieku, organizowane i składające się z wielu konkurencji turnieje rycerskie, a później testy i turnieje natury wojskowej, wykorzystywane były do sprawdzenia rycerzy i wojowników pod względem wszechstronnych umiejętności fizycznych i wykorzystywanych w walce. Dopiero w XVIII wieku wielobój składający się z biegów, skoków i pływania stał się elementem oceny ogólnej sprawności fizycznej niemieckich studentów (Zarnowski, 1991; DECA, 2018).

Największy rozwój wielobojowych form współzawodnictwa miał miejsce w ostatnich dwóch stuleciach, podczas których na całym świecie organizowano zawody i mistrzostwa różniące się między sobą liczbą oraz rodzajem konkurencji składowych. W 1880 roku w Niemczech odbyły się mistrzostwa w trójboju (rzut kamieniem, skok o tyczce oraz skok w dal). W 1851 r. w Anglii rywalizowano w skoku wzwyż, skoku w dal, pchnięciu 36 – funtowym kamieniem, biegiem na pół mili oraz w wspinaczce po linie na wysokość 55 stóp. W krajach skandynawskich zawodnicy rywalizowali w antycznym pentatlonie, a w 1884 r. w Stanach Zjednoczonych po raz pierwszy zorganizowano jednodniowe, krajowe mistrzostwa „All-around”, w czasie których atleci startowali w dziesięciu różnych konkurencjach. Na początku XX wieku w Skandynawii zmodyfikowano klasyczny pięciobój, zastępując zapasy biegiem na dystansie 1500 m. Dodatkowo do wielobojowych form współzawodnictwa dołączyła dyscyplina zwana dziesięciobojem, która od końca 1911 r. składa się z 4 konkurencji biegowych, 3 skoków oraz 3 rzutów, rozgrywanych w ciągu dwóch dni zawodów. Dzień pierwszy składa się z biegu na 100 m, skoku w dal, pchnięcia kulą, skoku wzwyż oraz biegu na 400 m. W drugim dniu zawodów rozgrywane są bieg przez płotki na dystansie 110 m, rzut dyskiem, skok o tyczce, rzut oszczepem i bieg na 1500 m. Każdy najlepszy wynik uzyskany w danej konkurencji jest przeliczany według tabel wielobojowych na punkty, które są sumowane. Suma uzyskanych punktów, w obu dniach rywalizacji, określa pozycję w klasyfikacji dziesięcioboju (Quercetani, 2000). Dziesięciobój został włączony

do konkurencji olimpijskiej podczas V Igrzysk Olimpijskich w Sztokholmie, które odbyły się w 1912 roku; pierwszym mistrzem olimpijskim został Jim Thorpe, który zdobył 8413 punktów (Kuijen, 2012).

Wykorzystywane do oceny punktowej rezultatów uzyskiwanych w poszczególnych konkurencjach lekkoatletycznego wieloboju, oparte na przekształceniach matematycznych, tabele wielobojowe powstały w 1884 roku na potrzeby pierwszych mistrzostw „All-around”. Ciągła ewolucja sportu, rozwój fizyczny i sportowy zawodników, wprowadzane zmiany w technikach wykonywania rzutów, skoków czy biegów wraz z postępowaniem technologicznym, jaki dokonywał się na przestrzeni lat, prowadziły do ponadprzeciętnych rezultatów uzyskiwanych przez dziesięcioboistów, które to wymuszały aktualizację tabel wielobojowych. Początkowo w historii lekkoatletycznego wieloboju wykorzystywano prosty w konstrukcji model liniowy przeliczania punktów, bazujący na rekordach z poprzednich lat. W 1934 Międzynarodowe Stowarzyszenie Federacji Lekkoatletycznych (International Association of Athletics Federations [IAAF]) zaakceptowało nowe, progresywne tabele wielobojowe, w których ocena punktowa zrealizowana została przy użyciu funkcji wykładniczej i zakładała postęp uzyskiwanych wyników. Dokonana w 1950–52 roku bardzo progresywna modyfikacja tabel spowodowała, że zwycięzcami dziesięcioboju zostawali zawodnicy uzyskujący ponadprzeciętne wyniki tylko w określonym typie konkurencji, a nie wielobości startujący na wysokim poziomie w całości konkurencji składowych. W 1964 roku wprowadzono umiarkowane regresywne tabele wielobojowe, w których sposób przeliczania wyników w konkurencjach torowych (biegowych) miał charakter progresywny, zaś technicznych regresywny. Tabele te obowiązywały przez kolejne 20 lat aż do roku 1984, kiedy nastąpiła ostatnia modyfikacja tabel wielobojowych. Tabele te obowiązują do dnia dzisiejszego (IAAF, 2001).

Istotnym elementem każdej konkurencji sportowej jest odpowiedni trening zawodnika, który w przypadku dziesięcioboju lekkoatletycznego jest wieloetapowym i rozłożonym w czasie trwania kariery procesem. Różnorodność i liczba konkurencji dziesięciobojowych powoduje, że z fizjologicznego punktu widzenia, dziesięciobój lekkoatletyczny to szerokie spektrum wysiłków tlenowych (1500 m), glikolitycznych (400 m) i fosfagenowych (100 m, skoki, rzuty) – Tidow (2000). W ocenie motorycznej przeważają wysiłki siłowo-szybkościowe (Edouard, Mori, Samozino, 2013a), a od strony analizy struktury ruchu w ramach wieloboju występują konkurencje stosunkowo proste (biegi płaskie), a także o złożonej strukturze (skok o tyczce, bieg na 110 m przez płotki) – Schrader (2011), Vana (2003). Ze względu na ograniczenia czasowe, liczbę i odmienny charakter każdej konkurencji

składowej, praca jaką powinien wykonać zawodnik w czasie treningu dziesięcioboju, jest dużo większa niż w przypadku konkurencji indywidualnych. Dla dziesięcioboisty ważne jest kształtowanie zdolności motorycznych (gibkość, szybkość, siła i wytrzymałość) wykorzystywanych przez niego w różnym stopniu w każdej z konkurencji składowych oraz techniki, która podczas wczesnej fazy szkolenia powinna być nauczana bezbłędnie (Edouard i in., 2013a; Ryba, Mierzejewski, 2007; Schrader, 2011; Vana, 2003). Wobec powyższego trening zawodnika nie może być prostą sumą treningów dziesięciu konkurencji indywidualnych (Socha, 1977). W procesie treningowym należy przyjąć rozwiązania kompromisowe, mające na celu np. łączenie jednostek treningowych (elementów technicznych występujących w jednej konkurencji z elementami technicznymi innej), co z praktycznego punktu widzenia nie jest łatwe.

Specyfika wieloboju, budowa tabel oraz mnogość czynników wpływających na końcowy rezultat dziesięcioboju (np. poziom zdolności motorycznych, technicznych i budowy somatycznej zawodnika) sprawiły, że istotne i znaczące w optymalizacji treningu sportowego okazało się określenie optymalnego wzorca dziesięcioboisty. Początkowo twierdzono, że aby uzyskiwać najlepsze wyniki w dziesięcioboju, zawodnik powinien być wszechstronnie uzdolniony oraz reprezentować wysoki i równy poziom we wszystkich konkurencjach składowych (Socha, 1977). Z czasem wyodrębniono grupy zawodników, którzy swoje osiągnięcia w wieloboju zawdzięczały doskonałym wynikom w jednej z trzech grup konkurencji (biegacze, skoczkowie i miotacze) lub w jednej z dziesięciu składowych dziesięcioboju (Furdal, 1986). Kolejne badania, w których zastosowano eksploracyjne metody analizy danych, pozwoliły na określenie typów zawodników bazujących na predyspozycjach i zdolnościach motorycznych (6 typów) lub określając ich jako typ uniwersalny albo typ specjalisty (Stemmler, Bäumlner, 2005; Bilić, 2015). Obecnie wśród czołowych dziesięcioboistów dominuje typ specjalisty – zawodnika wykorzystującego swoje wyjątkowe predyspozycje sportowe do uzyskiwania możliwie najlepszych wyników w mocnych konkurencjach, tym samym nadrabiając braki punktowe w innych – słabszych.

W trzech grupach konkurencji (biegi, rzuty skoki) ważnym i determinującym wysokie rezultaty elementem jest specjalistyczne przygotowanie zawodnika. Ze względu na liczbę konkurencji biegowych rozgrywanych w czasie męskiego wieloboju, przygotowanie biegowe dziesięcioboisty jest podstawą jego treningu lekkoatletycznego. Bieg na dystansie 100 m jest konkurencją szybkościową, w której ważne są szybkość reakcji, siła dynamiczna, technika startu i wybiegu oraz częstotliwość kroków. Jedną z najbardziej technicznych konkurencji wśród konkurencji biegowych jest bieg przez płotki. Na czas osiągnięty przez zawodnika

biegającego przez wysokie płotki w dużej mierze wpływają predyspozycje motoryczne, wytrzymałość szybkościowa, zdolności sprinterskie, przygotowanie techniczne oraz elastyczność w stawie biodrowym (Coh, Iskra, 2012; Hyjek, 2013; Iskra, 2006). Bieg na 400 m to konkurencja, która jest kombinacją siły, szybkości i wytrzymałości, polegająca na utrzymywaniu maksymalnej prędkości biegu na całym pokonywanym dystansie (Miguel, Reis, 2004), natomiast w biegu na dystansie 1500 m znacząca okazuje się wytrzymałość tlenowa (Poliszczyk, 2001).

Wśród dziesięcioboistów dominuje typ szybkościowy bazujący na osiągnięciach w konkurencjach biegowych (100, 400 i 110 m ppł.) oraz w skoku w dal (Poliszczyk, 2001). W historii wieloboju męskiego (najpierw „all around”, później 5. i 10-boju) bardzo często najlepsze wyniki uzyskiwali biegacze. Począwszy od pierwszych wieloboistów jak Malcolm Ford czy Aleksander Jordan, poprzez późniejszych rekordzistów jak Yang Chuan-kwang lub Anglik Francis „Daley” Thompson, aż do najlepszych zawodników XXI wieku – Trey Hardee i Bryan Clay czy złoty medalista Igrzysk Olimpijskich w Meksyku (1968), Amerykanin Bill Toomey, który w czasie 10-boju przebiegł 100 m w 10,41 s, a 400 m w 45,68 s (Butler, 2015; Iskra, 2012; Zarnowski, 2005; Wallechinsky, Loucky, 2012).

Były rekordzista świata Ashton Eaton jest przykładem zawodnika, którego doskonale predyspozycje szybkościowe pozwalają na osiąganie ponadprzeciętnych rezultatów w biegach i skokach. W 2015 roku na Mistrzostwach Świata w Pekinie, uzyskując bardzo dobre rezultaty w biegu na 100 m (10,23 s), 400 m (45,00 s) i 110 m ppł., (13,35 s) oraz w konkurencji skoku w dal (7,88 m), ustanowił po raz drugi rekord świata (9045 pkt.) w dziesięcioboju (IAAF, 2016).

W grupie konkurencji skocznościowych rozgrywanych w lekkoatletycznym dziesięcioboju o wyniku decydują głównie możliwości szybkościowo-siłowe oraz technika zawodnika. Dlatego też ważnym elementem treningu wieloboisty w skokach jest również przygotowanie szybkościowe. W skoku w dal, oprócz przygotowania szybkościowego i siłowego, ważne jest odpowiednie wykonanie poszczególnych faz skoku, tzn. rozbiegu, odbicia, lotu i lądowania (Jaitner, Mendoza, Schöllhorn, 2001; Bridgett, Linthorne, 2006). Rekordzistą w tej wielobojowej konkurencji jest wspomniany wcześniej Ashton Eaton, który w 2012 roku w trakcie zawodów w Eugene skoczył w dal na odległość 8,23 m, co dało mu aż 1120 pkt.. Tym samym uzyskał on najlepszy wynik w historii skoku w dal rozgrywanego w trakcie dziesięcioboju. W tym samym roku na Halowych Mistrzostwach Świata w Turcji Eaton ustanowił rekord świata w 7-boju, uzyskując w skoku w dal 8,16 m (1102 pkt.) (IAAF, 2016). Znakomitymi skoczkami w dal byli również dwukrotny mistrz olimpijski

w 10-boju Dayley Thompson, który w czasie Igrzysk w Moskwie w 1980 r. i w Los Angeles w 1984 r. skoczył odpowiednio 8,00 i 8,01 m oraz Amerykanin „Bill” Toomey, który blisko 50 lat temu uzyskał rezultat 7,87m (Quercetani, 2000). W skoku o tyczce, mającym wszechstronny charakter motoryczny oraz trudną technikę wykonania, osiągnięcie dobrego rezultatu zależy w dużym stopniu od budowy somatycznej zawodnika (odpowiedniej proporcji wysokości ciała do masy ciała czy dźwigni kostnych), siły eksplozywnej kończyn górnych, przygotowania psychomotorycznego i koordynacji ruchowo-przestrzennej oraz przygotowania technicznego (Klimczyk, Dakiniewicz, 2012; Maszczyk, 2013; Gudelj, Zagorac, Babic, 2013). W latach 1962–1984 dobre wyniki w skoku o tyczce gwarantowały uzyskanie ponadprzeciętnej (w stosunku do innych konkurencji) liczby punktów, a osiągnięte rezultaty w tym okresie wymusiły obniżenie znaczenia skoku o tyczce w grupie 10 konkurencji wieloboju (Iskra, 1988; Hymans, 2010). Obecnie najlepsi wielobości świata uzyskują rezultaty w skoku o tyczce na poziomie 5,20–5,40 m. Skok wzwyż, podobnie jak pozostałe konkurencje skocznościowe rozgrywane w czasie męskiego dziesięcioboju, jest konkurencją szybkościowo-siłową i trudną technicznie. Ze względu na brak czasu, który można przeznaczyć na kształtowanie detalicznej techniki ruchu w treningu, najlepsze wyniki dziesięcioboistów odbiegają od rezultatów w konkurencjach indywidualnych (Quercetani, 2000, Hymans, 2010; Poliszczuk, 2001). W historii wieloboju w czasie Igrzysk Olimpijskich w 1924 r. Amerykanin Harold Osborn jako jedyny został mistrzem olimpijskim w skoku wzwyż (198 cm) oraz w dziesięcioboju, gdzie w czasie zawodów wieloboju skoczył o jeden centymetr mniej (Wellehinski, Loucky, 2012; Hymans, Matrahazi, 2015).

Typ siłowy zawodnika, osiągający znaczące wyniki w konkurencjach rzutowych to rzadka grupa wieloboistów, funkcjonująca głównie w przeszłości. Jednakże obecny rekordzista świata, Francuz Kevin Mayer, swój rekordowy wynik wynoszący 9126 punktów z pewnością zawdzięcza wysokim wynikom uzyskanym we wszystkich konkurencjach rzutowych (16,00 m w pchnięciu kulą, 50,54 m w rzucie dyskiem i 71,90 m w oszczepie) oraz doskonałemu wynikowi w skoku o tyczce (5,45 m) – IAAF (2018). Pchnięcie kulą, rzut dyskiem oraz rzut oszczepem to konkurencje o charakterze szybkościowo-siłowym lub siłowo-szybkościowym, w których o wyniku w dużym stopniu decyduje technika wykonania rzutu, budowa somatyczna zawodnika (wysokość i masa ciała) oraz zdolności siłowo-szybkościowe. Rekordy świata w dziesięcioboju bił Niemiec Hans-Heinrich Sievert, który był czołowym miotaczem w kraju oraz rekordzistą z lat 60-tych – Russ Hodge, który osiągał w pchnięciu kulą rezultaty powyżej 17 m, a w rzucie dyskiem ponad 50 m. W konkurencji

rzutu oszczepem wyniki ponad 70 m osiągnęli: rekordzista świata Kurt Bendlin i medalista olimpijski Leonid Litwinienko (Hymans, Matrahazi, 2015).

Wśród najlepszych zawodników świata startujących na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat pojawiają się również polskie nazwiska. W historii polskiej lekkoatletyki, sięgającej początków XIX wieku, na Mistrzostwach Polski konkurencja dziesięcioboju została rozegrana po raz pierwszy w listopadzie 1923 roku w Warszawie. Pierwszym Mistrzem i rekordzistą Polski został Waław Kuchar – zawodnik lwowskiej Pogoni, który uzyskał wynik 5027,255 punktów. W kolejnych latach, poprzedzających II wojnę światową, najlepsze wyniki w kraju i na arenie międzynarodowej osiągnęli m.in. Antoni Cejzik – olimpijczyk z 1924 roku z Paryża (11 miejsce) oraz czterokrotny mistrz Polski (1926–1929), Jerzy Pławczyk – brązowy medalista Europy z Turynu z 1934 roku i dwukrotny mistrz Polski (1934 i 1936 r.), a także Witold Gerutto – srebrny medalista Mistrzostw Europy (Paryż 1938 r.).

Polscy dziesięciobości największe sukcesy indywidualne i drużynowe na arenie międzynarodowej po wojnie odnosili w latach 70-tych. Należy tu wspomnieć o wielkim sukcesie drużynowym Polaków na pierwszej samodzielnej imprezie lekkoatletycznej o charakterze wieloboju (dziesięciobój mężczyzn i pięciobój kobiet), którą był Puchar Europy w Wielobojach. W pierwszym Pucharze Europy, rozgranym 22–23 września 1973 r. w Bonn, Ryszard Skowronek (3 miejsce indywidualnie), Ryszard Katus i Tadeusz Janczenko uzyskali w sumie 23578 punktów, pokonując reprezentacje Związku Radzieckiego i Niemieckiej Republiki Demokratycznej. W tym okresie liczne sukcesy indywidualne odnosili: Ryszard Katus, będący zawodnikiem Gwardii Warszawa, dwukrotny olimpijczyk i trzykrotny mistrz Polski w latach 1974–75 oraz 1978. Do największych sukcesów międzynarodowych mógł on zaliczyć starty w Igrzyskach Olimpijskich w Monachium w 1972 roku, gdzie z rezultatem 7984 pkt. zdobył brązowy medal oraz w Pucharze Europy w Wielobojach rozgranym w Bydgoszczy w 1975 roku, gdzie z wynikiem 7950 pkt zajął trzecie miejsce. Kolejnym utytułowanym zawodnikiem lat 70-tych był Ryszard Skowronek wychowanek m.in. AZS Śląsk Katowice (1972–1986), a później AZS-AWF Katowice, który jako pierwszy Polak przekroczył granicę 8000 pkt., pięciokrotny rekordzista Polski, mistrz Uniwersjady z 1973 roku w Moskwie (7965 pkt.), oraz mistrz Europy z Rzymu z 1974 roku (8207 pkt.).

Najbardziej utytułowanymi zawodnikami startującymi dotychczas w Mistrzostwach Polski są m.in.: Paweł Wiesiołek, startujący i trenujący współcześnie w klubie KS Warszawianka w Warszawie, będący sześciokrotnym mistrzem (2012, 2014–2016, 2018)

oraz srebrnym i brązowym medalistą Mistrzostw Polski, Michał Modelski, startujący w dziesięcioboju w latach 1991–2006 w barwach AZS-AWF Gdańsk, który zdobył 5 złotych medali (1998–2001, 2004), dwa srebrne i jeden brązowy oraz wspomniany już wcześniej Ryszard Katus, który oprócz sukcesów na światowych stadionach lekkoatletycznych w swej karierze (1963–1979) zdobył aż jedenaście medali mistrzostw Polski, w tym 3 złote (1974–1975, 1978). Obecny rekord Polski w dziesięcioboju lekkoatletycznym należy do Sebastiana Chmary, zawodnika Zawiszy Bydgoszcz, wicemistrza Uniwersjady z 1995 roku z Fukuoki (8014 pkt.), który w 1998 w Alhama de Murcia, zajmując 1 miejsce uzyskał rekordowy i niepobity do dnia dzisiejszego wynik 8566 punktów (Rozum i in., 2009; PZLA, 1968–2006).

1.2. Badania naukowe w dziesięcioboju

Ogólna charakterystyka dziesięcioboju, trudności związane z procesem treningowym zawodników oraz mnogość czynników wpływających na wynik końcowy powodowały, że konkurencja ta była częstym tematem zainteresowań badaczy. W literaturze dotyczącej tego wieloboju można odnaleźć prace z zakresu fizjologii, biomechaniki, metodyki, a także badań nad strukturą lekkoatletycznego dziesięcioboju, w których bardzo często w analizie wykorzystywano zaawansowane metody matematyczne i statystyczne.

Na przestrzeni kilkudziesięciu lat w literaturze dotyczącej dziesięcioboju bardzo często zwracano uwagę na trudność i czasochłonność procesu treningowego zawodników. Temat ten był poruszony w wielu publikacjach naukowych (Bezdicek, 1981; Koukal, 1986; Krzesiński, 1986; Kunz, 1984; Narimanov, 1987; Rudski, Aptekman, 1986; Shuravetzky, 1995, 2008), których głównym celem było wspomaganie trenerów w organizacji i sposobie realizacji szkolenia wieloboju w początkowych i następnych latach startów dziesięcioboistów.

Początkowo dziesięciobój lekkoatletyczny był często postrzegany jako kombinacja dziesięciu indywidualnych konkurencji, ale z czasem pogląd ten uległ zmianie i wielobój mężczyzn zaczęto postrzegać jako jedną kompleksową konkurencję. Zmiana podejścia do ogólnego postrzegania konkurencji jako całości oraz sposobu treningu dziesięcioboju wpłynęła na wzrost poziomu osiągniętych wyników wśród zawodników. Na wzajemne relacje pomiędzy konkurencjami i uzyskiwanymi rezultatami, a także optymalny trening wieloboisty zwrócił uwagę m.in. Kunz (1984).

Wyniki osiągnięte przez dziesięcioboistów oraz proces treningowy zmieniają się w zależności od wieku zawodnika, a co za tym idzie, jego rozwoju antropometrycznego czy etapu kariery. Dlatego też prowadzone przez naukowców badania wspomagające proces

szkoleniowy często uwzględniały podział okresu treningowego na poszczególne etapy uwzględniające np. wiek.

Rudski i Aptekman (1986) w procesie długoterminowego treningu wyszczególnili trzy etapy, podczas których należy zwrócić uwagę na kształtowanie określonych zdolności zawodnika trenującego tę formę wieloboju współzawodnictwa (dziesięciobój). Według autorów na pierwszym początkowym etapie treningu, tj. wśród zawodników w wieku 14–17 lat, nacisk powinien być kładziony na rozwój i wzmocnienie całego ciała młodego zawodnika. W kolejnym etapie nazwanym specjalizacją bazową (18–20 lat) istotne jest osiągnięcie optymalnego poziomu w biegach, skokach, treningu siły oraz kształtowanie techniki we wszystkich konkurencjach. Zawodnicy osiągający wiek powyżej 20 roku życia (etap treningu specjalistycznego) powinni kształtować zdolności szybkościowo-siłowe, utrzymywać technikę oraz automatyzm ruchów wykorzystywanych podczas poszczególnych konkurencji.

Bardzo ważnym elementem, z punktu widzenia trenera dziesięcioboju, jest odpowiedni i wczesny dobór zawodników, których będą oni trenować w kolejnych latach. Według Narimanov'a (1987) podczas etapu selekcji młodych lekkoatletów nie należy kierować się jedynie oceną rozwoju poszczególnych, pojedynczych zdolności motorycznych zawodnika, lecz należy uwzględnić ich rozwój kompleksowo, stosując również dodatkowe kryteria, jak np. cechy antropometryczne, poziom szybkości, przygotowanie szybkościowo-siłowe oraz wytrzymałościowe, które to mogą przełożyć się na późniejsze wysokie wyniki.

Dodatkowym elementem podczas wczesnej selekcji młodych wieloboistów jest również odpowiednia organizacja i ukierunkowanie treningów (Bezdiczek, 1981; Koukal, 1986; Krzesiński, 1986; Shuravetzky, 1995, 2008). W pracach z tego zakresu pojawiały się praktyczne sugestie dotyczące ćwiczeń i treningów na wczesnym etapie startów poparte analizami osiągnięć zawodników w różnym wieku. Na podstawie zaproponowanego rocznego treningu 19-letnich dziesięcioboistów Bezdiczek (1981) wyszczególnił główne cele, sposób organizacji i treści treningowe dla lekkoatletów. Z kolei Koukal (1986) po przeprowadzeniu autorskiego programu ćwiczeń wieloboju zwrócił uwagę na potrzebę poprawy umiejętności biegowych, skocznościowych oraz siły u młodych (14–17 lat) dziesięcioboistów. Natomiast w pracy Krzesińskiego (1986) stwierdzono, że na pierwszym etapie szkolenia szczególny nacisk powinno się położyć na trenowanie szybkości oraz techniki. Dodatkowo wywnioskowano, że konkurencjami najistotniejszymi są skok o tyczce, bieg przez płotki i rzut oszczepem, gdyż postępy w tych trzech konkurencjach zapewniają również postęp w pozostałych składowych dziesięcioboju.

W pracach autorstwa Shuravetzky'ego (1995, 2008) zwrócono uwagę, że oprócz wczesnej selekcji, odpowiedniej organizacji i dostosowania programu treningowego młodych wieloboistów, znacząca dla osiągnięcia wysokich wyników może okazać się także współpraca pomiędzy trenerami konkurencji wielobojowych i indywidualnych. Stwierdzenie to autor oparł na własnym kilkuletnim procesie treningowym wdrożonym wśród początkujących australijskich lekkoatletów (okres 1989–1994) i monitorowanych postępach rezultatów osiągniętych w kolejnych latach treningu.

Istotnym elementem treningu wieloboisty jest również wczesne i bezbłędne nauczanie techniki, którą wykorzystuje on w poszczególnych konkurencjach składowych, osiągając wyniki w pewien sposób zależne od jej opanowania (Vana, 2003; Ryba, Mierzejewski, 2007; Schrader, 2011; Edouard i in., 2013a). Wśród bardzo młodych lekkoatletów, będących w wieku 12–13 lat, na wyniki osiągnięte w dziesięcioboju istotny wpływ może mieć nawet nauczanie techniki w określonym, specyficznym dla tej dyscypliny porządku. Wyniki przeprowadzonych badań pokazały, że zawodnicy trenujący w ten sposób osiągnęli lepsze rezultaty w porównaniu z wieloboistami trenującymi technikę konkurencji składowych w dowolnym porządku Primakov i Popov (1981).

Wczesne nauczanie techniki wśród młodych dziesięcioboistów opisał również Fritsch (1986), który stwierdził, że główny nacisk powinien być kładziony na nabywanie i doskonalenie techniki wykorzystywanej w skoku o tyczce i biegu przez płotki. Ponadto, ważne jest określenie nogi dominującej zawodnika, technika startu w biegach sprinterskich i płotkach, a także kształtowanie i udoskonalanie wydolności zawodnika.

Natomiast Freeman (1986) uważał, że ważnym elementem w treningu młodych dziesięcioboistów jest wyeliminowanie braków w „słabych” konkurencjach, które ma na celu uzyskanie równowagi w osiągniętych wynikach, a dopiero potem trening „mocnych” konkurencji z uwzględnieniem tabel wielobojowych oraz zdolności indywidualnych zawodników.

Elementarnym przedmiotem szkolenia wielobojowego na różnych etapach kariery jest również kształtowanie i rozwijanie przede wszystkim zdolności motorycznych, jakimi są gibkość, szybkość, siła i wytrzymałość, a którymi powinien charakteryzować się zawodnik startujący w dziesięcioboju. Swoją koncepcję dziesięciobojowego treningu przedstawił w swych pracach Krzesinski (1984, 1985). Uważał on, że cechami charakterystycznymi dla osiągnięcia najlepszych rezultatów przez zawodników są: szybkość, przygotowanie siłowo-szybkościowe wykorzystywane w konkurencjach rzutowych, wytrzymałość specjalna, przygotowanie szybkościowo-siłowe ważne w konkurencjach skocznościowych oraz technika

(Krzesinski, 1984). W kolejnej pracy zaprezentował treści treningowe na poszczególnych etapach rozwoju kariery dziesięcioboistów, gdzie zwrócił uwagę na niewłaściwe formy treningu specjalnego w niektórych konkurencjach składowych (nadmierny nacisk na trening masy w rzutach lub intensywny trening interwałowy dla 1500 m), które mogą zakłócić trening wszechstronny zmniejszając możliwości w innych konkurencjach oraz wpływać na ryzyko kontuzji (Krzesinski, 1985).

Swój pogląd na dziesięciobój lekkoatletyczny przedstawili także Marra i Freeman (1989), którzy opisali w niej specyfikę konkurencji, czynniki mające wpływ na wysokie wyniki uzyskiwane przez wieloboistów, podstawowe koncepcje treningowe, zmianę treningu dziesięcioboisty, sposoby poprawy kondycji oraz przygotowanie i uczestnictwo w zawodach.

Ze względu na liczbę konkurencji rozgrywanych w czasie lekkoatletycznego dziesięcioboju, wszechstronność przygotowania zawodników do startów, stosowany przelicznik punktowy oraz sumaryczny wynik końcowy określający poziom sukcesu startującego wieloboisty, wśród trenerów często pojawiały się pytania dotyczące sposobu organizacji samego procesu treningowego. Dla Magnusen'a (1986) istotne okazało się udzielenie odpowiedzi na następujące kwestie: jaka kombinacja konkurencji składowych gwarantuje sukces w dziesięcioboju, jakie zdolności fizyczne – szybkość, siła czy wytrzymałość – powinny być akcentowane w treningu, czy trening poszczególnych konkurencji powinien odbywać się w takiej samej kolejności jak podczas startów, jak zaplanować sesję treningową z wykorzystaniem optymalnego obciążenia treningowego, jak trenować rzuty (pchnięcie kulą oraz rzut dyskiem) skoro ich akcentowanie nie wpływa pozytywnie na ogólne osiągnięcia w dziesięcioboju.

Okazuje się również, że na osiągnięte wyniki wpływ może mieć również liczba startów jakie zawodnicy odbywają w czasie sezonu. Na podstawie porównania liczby startów w cyklu rocznym dziesięcioboistów rosyjskich i zawodników z innych krajów Maksimenko i Martinenko (1992) wywnioskowali, że przed najważniejszym startem w roku dla osiągnięcia wysokich wyników atleci powinni wystartować w dwóch zawodach dziesięciobojoych i dodatkowo od 6 do 8 startach w konkurencjach indywidualnych.

Jednym z najważniejszych elementów dziesięcioboju lekkoatletycznego są tabele wielobojowe, które wykorzystuje się do przeliczania na punkty wyników metrycznych, uzyskiwanych w poszczególnych konkurencjach składowych. Od 1884 roku (pierwsze udokumentowane tabele wielobojowe) sposób konwersji wyników częściowych wpływał na sumaryczny rezultat końcowy, kształtując w pewien sposób całą konkurencję. Tabele wielobojowe determinowały nie tylko typ zawodników osiągających najwyższe rezultaty, ale

również podejście do struktury i sposobu treningu (Trkal, 2003). Ewoluuujące na przestrzeni lat tabele, które wykorzystywały różne modele matematyczne (liniowe, progresywne i regresywne), wpływały również na pojawiające się publikacje naukowe.

Tematyką wpływu ostatniej wprowadzonej aktualizacji tabel wielobojowych na kształt współczesnego dziesięcioboju oraz proces szkoleniowy zajmował się m.in. Tidow (1989). Przeprowadzając szczegółową analizę działania nowych tabel wielobojowych, zastosowanych w nich zmian oraz konsekwencji i wpływu wprowadzenia tych zmian w procesie szkoleniowym, a także typowaniu potencjalnych mistrzów, Tidow (1989) wywnioskował, że obecne tabele faworyzują „specjalistów” w odróżnieniu od wszechstronnych lekkoatletów. Dodatkowo w analizach przeliczników punktowych nowych tabel zwrócono uwagę na zysk wszystkich konkurencji biegowych, zwłaszcza 1500 m, oraz zmniejszenie się oddziaływania skoków (głównie skoku o tyczce) na sumaryczny wynik końcowy (Furdal, 1986, 1989; Iskra, 1988; Tidow, 1989).

W lekkoatletycznym 10-boju istotne znaczenie mają także badania nad czynnikami fizjologicznymi i ich zmianami, które zachodzą w organizmie zawodnika w odpowiedzi na obciążenie treningowe podczas szkolenia czy przemiany zachodzące w poszczególnych konkurencjach składowych.

Eller (1974) oceniając wydatek energetyczny stwierdził, że w ciągu dwóch dni zawodów wielobojsi tracą więcej energii niż biegacze na trasie maratonu. Oceną zmian wytrzymałości dziesięcioboistów w wieku od 17–23 lat pod wpływem wytrzymałościowego treningu biegowego zajmowali się Sadurski i Opaszowski (1977). Na podstawie przeprowadzonych przez nich badań w dwóch grupach zawodników, spośród których jedna była poddana treningom o większej częstotliwości oraz uczestniczyła w zgrupowaniu kondycyjnym, a druga realizowała typowy trening dziesięciobojowy, stwierdzono, że ponad 23% wzrost wytrzymałości lekkoatletów z grupy pierwszej był spowodowany zwiększeniem sprawności mechanizmów tlenowych i beztlenowych oraz zależny od ilości pracy jaką zawodnicy wykonali podczas treningów.

Badania biomechaniczne dotyczące doskonalenia techniki ruchu w każdej z konkurencji składowych czy zwiększenie efektywności procesu treningowego w lekkoatletycznym dziesięcioboju było także przedmiotem rozważań naukowych (Eduard i in., 2013a, Eduard, Mori, Samozino, 2013b; Kunz, Kaufmann, 1981, 1983; Schneider, 1986; Siskov, 1993). Badaniami antropometrycznymi dziesięcioboistów zajmował się Schneider (1986), który na podstawie wyznaczonego 17-segmentowego modelu ludzkiego ciała określił typową budowę biomechaniczną 26 najlepszych zawodników. Za pomocą analizy regresji sprawdzono czy

osiągnięcia w każdej z dziesięciu konkurencji są możliwe do przewidzenia za pomocą kombinacji liniowej parametrów ciała. W pracy tej przedstawiono kombinację parametrów, która jest optymalna dla elitarnych dziesięcioboistów.

W literaturze pojawiły się również prace porównujące biomechanikę ruchu oraz elementy techniczne wykorzystywane przez zawodników w poszczególnych konkurencjach składowych lekkoatletycznego dziesięcioboju oraz specjalistów startujących w swoich dyscyplinach. W jednej z nich autorzy (Kunz, Kaufmann, 1981) zestawili ze sobą niektóre parametry biomechaniczne ruchu sprinterów i wieloboistów startujących na dystansie 100 metrów, gdzie na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzili, że oba typy zawodników różniły się od siebie między innymi: długością kroku oraz jego częstotliwością, kątami uda podczas kontaktu, kątem lądowania, przyspieszeniem kąta uda czy kątem tułowia.

Na podstawie zarejestrowanych materiałów filmowych i analizie porównawczej zachowania czołowych sprinterów i dziesięcioboistów podczas biegów na dystansach sprinterskich, Siskov (1993) wywnioskował, że wśród dziesięcioboistów wpływ na wynik ma długość ich kroku w czasie biegu, podczas gdy u sprinterów ważna i istotna jest szybkość ich kroku. Dodatkowo zasugerował, że zwiększenie siły eksplozywnej kończyn dolnych powinno zwiększyć długość kroku biegowego.

W pracy Kunz'a i Kaufmann'a (1983) dokonano komputerowej analizy i porównania techniki rzutu oszczepem dwunastu szwajcarskich dziesięcioboistów oraz dwóch oszczepników klasy światowej. Na podstawie zarejestrowanych filmów oraz analizy korelacji pomiędzy elementami technicznymi w obu grupach stwierdzono, że największy wpływ na uzyskiwaną przez zawodników odległość ma prędkość uwalniania oraz kąt wyrzutu oszczepu, a także dodatnie przyspieszenie miotacza podczas próby.

W celu określenia wymagań funkcjonalnych i mechanicznych zdolności mięśni kończyn dolnych, a także ryzyka kontuzji wśród zawodników startujących w dziesięcioboju Eduoard i in. (2013a) zbadał zmiany maksymalnej mocy wyjściowej nóg u sześciu czołowych i jedenastu innych dziesięcioboistów Francji. Na podstawie danych zebranych podczas dwudniowych Krajowych Mistrzostw Wielobojowych Francji z 2010 roku i przeprowadzonych testów autorzy stwierdzili, że wśród zawodników wysokiej klasy nie obserwuje się istotnych zmian w sile, prędkości i mocy wyjściowej kończyn dolnych, a zmęczenie mięśniowe tej grupy mięśni nie odgrywa istotnej roli w ryzyku kontuzji. Dodatkowo sugerowano, że przed pierwszymi rozgrywanymi w danym dniu konkurencjami, w szczególności przed biegiem na 110 m ppł., wymagana jest rozgrzewka.

Z kolei w innej pracy Edouarda i in. (2013b) zbadano problem częstotliwości występowania i rodzajów urazów na różnych etapach karier młodych zawodników i zawodniczek startujących w dziesięcio- i siedmioboju. Na podstawie porównania danych Międzynarodowego Komitetu Olimpijskiego i danych zebranych podczas Krajowych Mistrzostw Wielobojowych Francji z 2010 roku stwierdzono, że większość odnotowanych wśród młodych zawodników kontuzji dotyczyło nadwyrężenia uda, kolana i torsu, które mogły wynikać np. z niedojrzałych struktur mięśniowo-szkieletowych.

Problematyka optymalnego sterowania rozwojem mistrzostwa sportowego z uwzględnieniem specyfiki konkurencji, wieku zawodnika oraz przygotowania motorycznego i technicznego jest potrzebna i zasadna, a jej podstawą jest śledzenie przebiegu rozwoju karier. Badania ontogenezy sportowej dziesięcioboistów, osiąganych przez nich najlepszych rezultatów końcowych oraz częściowych były tematem zainteresowań naukowców. Tego typu analizy pozwalają na określenie wieku osiągnięcia najlepszych rezultatów, optymalnego czasu trwania i sposobu treningu poszczególnych konkurencji składowych prowadzącego zawodników do formy mistrzowskiej (Kadijski 1991c).

Primakov i Popov (1983) wykorzystali metody statystyczne do zbadania relacji pomiędzy rozwojem zdolności motorycznych oraz umiejętności technicznych młodych dziesięcioboistów z uwzględnieniem ich poziomu sportowego. W grupie zawodników „słabszych” wyznaczyli oni istotne statystycznie związki pomiędzy poziomem umiejętności technicznych a rozwojem poziomu siły maksymalnej wykorzystywanej w rzutach, jak również techniką biegu przez płotki oraz w skoku w dal, a szybkością zawodników. Wśród dziesięcioboistów osiągających wyższe wyniki znaczące okazały się ujemne związki pomiędzy techniką, a uwzględnionymi danymi antropometrycznymi w konkurencjach skoku o tyczce i płotkami. Dodatkowo stwierdzono, że w konkurencjach rzutowych wysoka waga ciała nie jest ważna w opanowaniu techniki, a w początkowej fazie specjalizacji nacisk powinien być kładziony szczególnie na rozwój szybkościowo-siłowy, ponieważ to sprawia, że kształtowanie techniki w konkurencjach trudnych staje się znacznie prostsze.

Analizą wyników uzyskiwanych przez najlepszych dziesięcioboistów świata zajmował się również Kostial (1993), który wykorzystując metody matematyczne i statystyczne wskazał na potrzebę tego rodzaju badań z uwzględnieniem np. wieku, budowy ciała i poziomu uzyskiwanych wyników w celu lepszego i efektywniejszego treningu zawodników, a także na możliwość przewidywania przyszłych rezultatów, np. przy użyciu równań regresji.

Porównując najlepsze rezultaty osiągnięte na etapie juniora, a później seniora, przez dziesięcioboistów będących rekordzistami wszechczasów ($n = 7$) oraz rekordzistami juniorów

(n = 11), a także czołowych czeskich zawodników (n = 7) startujących w latach 1988–2000, Vinduskova (2001) podjęła próbę odpowiedzi na pytanie czy wysokie wyniki uzyskane na wczesnym etapie kariery mogą być wskaźnikiem wysokich i rekordowych wyników na późniejszych etapach.

Analiza wyników uzyskiwanych przez lekkoatletów w poprzednich latach (sezonach, okresach) była przyczynkiem do badań mających na celu określenie poziomu osiągniętych wyników w kolejnych latach kariery zawodniczej. Takimi badaniami zajmowali się m.in. Walaszczyk (1997) czy Kuptshinov (1991), który na podstawie analizy rozwoju wyników zawodników światowej klasy, dokonał prognozy rezultatów oraz tempa ich poprawy dodatkowo przedstawiając aspekty i zadania jakie należy uwzględnić podczas planowania szkolenia.

W celu optymalizacji procesu treningu oraz lepszego zrozumienia struktury lekkoatletycznego dziesięcioboju, w badaniach bazujących na analizie rekordów życiowych lub karier najlepszych zawodników świata startujących w różnych okresach rozwoju dyscypliny, stosowano zaawansowane metody matematyczne oraz statystyczne, których podstawą często była analiza czynnikowa.

Zaciorski i Godik (1963) przeanalizowali wyniki wszystkich (n = 54) uczestników Igrzysk Olimpijskich z okresu 1952–1960 wykorzystując metodę centroidalną z rotacją graficzną i wyodrębnili pięć czynników, spośród których pierwszy czynnik charakteryzował wpływ poszczególnych konkurencji na wynik sumaryczny, drugi określał przygotowanie wytrzymałościowe, trzeci opisywał skoki, czwarty łączył wyniki w biegach sprinterskich i skokach, natomiast piąty posiadał ładunki o niskich wartościach.

Natomiast w innej pracy z tego zakresu Simons (1968), na podstawie wyników uzyskanych przez 115 zawodników biorących udział w Igrzyskach Olimpijskich (1936–1964) oraz zastosowanej metody Hottelina z rotacją skośną Biquertima, wyznaczył sześć czynników determinujących strukturę dziesięcioboju.

Odmianą metodę analizy czynnikowej wykorzystał Baumler i Rieder (1972). Do analizy wyników juniorów i 50-ciu najlepszych wieloboistów świata z 1965 roku, które przyporządkowano, m.in. ze względu na staż treningowy czy poziom sportowy, do siedmiu grup, autorzy zastosowali metodę składowych głównych Hotellinga z rotacją varimax. Rezultaty przeprowadzonych obliczeń wykazały, że ilość czynników oraz ich struktura jest różna i związana ze stażem treningowym oraz poziomem sportowym. Na strukturę wyodrębnionych pięciu czynników, znaczący wpływ miały konkurencje biegu na 110 m ppł.,

skoku o tyczce i skoku wzwyż (głównie pierwszy czynnik), a także siła absolutna, wytrzymałość biegowa, szybkość oraz elementy charakterystyczne dla rzutu oszczepem.

Analiza czynnikowa, w której wykorzystywano metodę Hotellinga lub Jöreskoga z rotacją varimax, była również szeroko stosowana przez polskich badaczy już w latach 70-tych (Haleczko, Socha, 1975, 1976; Socha, 1975, 1977), a także w latach późniejszych (Furdal, 1986; Iskra, 1990; Nowak, 1989; Walaszczyk, 1998). Metody te wykorzystano m.in. do opracowania modelowych parametrów budowy somatycznej i przygotowania sprawnościowego dziesięcioboistów na różnych poziomach zaawansowania (Socha, 1975, 1977; Haleczko, Socha, 1975) oraz zdefiniowania czynników, określających wewnętrzną strukturę dziesięcioboju, które wpływają na poziom wyników uzyskiwanych przez zawodników w różnych grupach i okresach startowych w historii lekkoatletycznego dziesięcioboju. Stosując metodę analizy składowych głównych Hotellinga z rotacją varimax Haleczko i Socha (1976) na podstawie wyników uzyskanych przez grupę 98 najlepszych zawodników świata startujących do 1972, określili trzy czynniki opisujące ówczesny dziesięciobój. Rok później wykorzystując do badań na tym samym materiale badawczym metodę analizy czynnikowej Jöreskoga z rotacją varimax, Socha (1977) zdefiniował cztery czynniki opisujące strukturę związków zachodzących pomiędzy konkurencjami składowymi.

W swej pracy Furdal (1986) wskazywał na znaczenie przeprowadzonych już w latach 50-tych i 60-tych XX wieku badań (Karvonen, Niemi, 1953; Zaciorski, Godik, 1963), w których zastosowano analizę czynnikową do sprawdzenia zależności między wynikiem sumarycznym a konkurencjami składowymi. W tej samej pracy autor na podstawie wyników 158 najlepszych dziesięcioboistów świata przeprowadził analizę wykorzystując metodę składowych skośnych oraz metodę profili głównych, której wynikiem było określenie trzech grup skorelowanych konkurencji w dziesięcioboju oraz wyodrębnienie sześciu głównych profili zawodników ze względu na osiągnięte wyniki (Furdal, 1986).

W literaturze pojawiały się też prace wykorzystujące analizę czynnikową do zdefiniowania czynników determinujących wysokie wyniki w grupach zawodników na etapie juniora i seniora. Kabitsis, Harahousou i Kioumourtzoglou (1992), na podstawie zebranych danych o wynikach uzyskanych przez 50 najlepszych juniorów i seniorów świata, wykazali, na podstawie analizy korelacji, że zależności pomiędzy poszczególnymi konkurencjami w obu grupach nie różnią się znacząco, a wyznaczone w wyniku przeprowadzonej analizy czynnikowej 5 czynników dotyczyło prędkości biegowej, siły i mocy kończyn górnych i dolnych, wytrzymałości biegowej i koordynacji siły w nogach. Ponadto wywnioskowali oni,

że kluczową konkurencją dziesięcioboju jest rzut oszczepem a następnie bieg na dystansie 1500 m oraz skok o tyczce.

Innymi pracami prezentującymi wyniki analizy czynnikowej wykorzystanej do zbadania struktury lekkoatletycznego dziesięcioboju są publikacje autorstwa Kadijskiego (1991a, 1991b). W jednej z nich autor wnikliwie przeanalizował dane dotyczące wyników sumarycznych i cząstkowych konkurencji składowych uzyskanych przez 26 juniorów startujących w okresie 1977–1981 i na ich podstawie zdefiniował aż osiem czynników wpływających na wysokie rezultaty osiągane przez młodych lekkoatletów. Zwrócił on m.in. uwagę na duże znaczenie wszechstronnego przygotowania fizycznego zawodników ze szczególnym uwzględnieniem szybkości a także innych czynników takich jak: siła absolutna, prędkość-siła-wytrzymałość, skoczność oraz koordynacja (Kadijski, 1991a). W kolejnej pracy opartej na innym materiale badawczym stwierdził on, że największy wpływ na wysokie rezultaty, podobnie jak powyżej, ma wszechstronne przygotowanie fizyczne dziesięcioboisty lecz w tym przypadku ze szczególnym uwzględnieniem siły, a także innych czynników określających szybkość, skoczność oraz zwinność, jak również wytrzymałość tlenową i beztlenową oraz trening specjalny (Kadijski, 1991b).

W pracy doktorskiej Walaszczyk (1998), w której autorka przeanalizowała okres 1985–1996 gromadząc dane dotyczące 50 najlepszych dziesięcioboistów i siedmioboistek świata, porównała wyniki z poprzednimi pracami Furdala, Sochy i Iskry z uwzględnieniem trzech czteroletnich cykli olimpijskich. Analizy zaprezentowane przez Walaszczyk obejmowały ocenę poziomów uzyskiwanych rezultatów, związki wyniku sumarycznego z wynikami cząstkowymi oraz analizę czynnikową w ocenie struktury wielobojów lekkoatletycznych kobiet i mężczyzn, w której zastosowano metodę składowych głównych Hottelina z rotacją varimax.

Współcześnie pojawiały się również prace, w których zaawansowane metody obliczeniowe (np. analiza czynnikowa, konfiguracyjna analiza częstości) wykorzystywano do zdefiniowania typów zawodników osiągających sukcesy w dziesięcioboju ze względu na ich predyspozycje oraz zdolności motoryczne (Stemmler, Bäumlner, 2005; Bilić, 2015), a także do zbadania ukrytej struktury dziesięcioboju (Ertel, 2011).

Do analizy wyników uzyskiwanych w dziesięcioboju wykorzystano również metodę LVMs (semiparametric latent variable models) będącą połączeniem klasycznej analizy czynnikowej oraz regresji semiparametrycznej. Jej wynikiem dla zgromadzonych danych dotyczących 3103 najlepszych światowych rezultatów zdobytych w latach 1998–2009 było wyznaczenie czterech ukrytych czynników zinterpretowanych jako sprinty, skoki, rzuty

i wytrzymałość, na które nieliniowy wpływ miały zmienne wiek, sezon (Wimmer, Fenske, Pyrka, Fahrmeir, 2011).

Na podstawie rekordowych wyników 10 najlepszych zawodników świata w dziesięcioboju uzyskanych od 1984 do 2016 roku oraz zastosowaniu analizy czynnikowej Pavlović i Idrizović (2017) wyznaczyli trzy czynniki opisujące w sumie 75% całkowitej wariancji, określając przy tym udział poszczególnych konkurencji w budowie każdego z czynników.

Autorzy innej pracy (Woolf, Ansley, Bidgood, 2007), wykorzystując metodę analizy skupień, określili grupy konkurencji mających wpływ na sukces w dziesięcioboju. Poddali oni analizie rezultaty sumaryczne oraz punktowe 173 rekordów życiowych osiągniętych przez czołowych dziesięcioboistów świata w latach 1985 do 2005. Na bazie wyników obliczeń wskazano 5 grup skupień oraz stwierdzono, że sprinterzy mogą mieć pewną przewagę w większości konkurencji dziesięcioboju nad zawodnikami specjalizującymi się w innych typach konkurencji.

Z kolei Park i Zatsiorsky (2011) użyli metody analizy składowych głównych (PCA – Principal Component Analysis) do wyznaczenia nowych zmiennych opisujących strukturę dziesięcioboju. Na podstawie osiągnięć zawodników startujących podczas Igrzysk Olimpijskich w latach 1988–2008 oraz otrzymanych wyników zdefiniowali oni trzy składowe główne, objaśniające w sumie 70% wariancji danych.

Metoda analizy składowych głównych wykorzystana została również do redukcji ilości zmiennych opisujących rekordowe starty osiągnięte przez dziesięcioboistów ze świata w latach 2004–2013, a uwzględnione cztery składowe główne posłużyły do predykcji rezultatów na lata następne z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych opartych na metodzie wstecznej propagacji błędów (BP) – Chen i Zhang (2016).

Heazlewood, Gahreman, Lee (2014) na podstawie zebranych danych dotyczących wyników osiągniętych w 2013 roku przez najlepszych dziesięcioboistów ($n = 130$) oraz siedmioboistek ($n = 114$) świata wykorzystali metodę PCA do utworzenia nowych modeli koncepcyjnych męskiego i żeńskiego wieloboju, które mogłyby mieć wpływ na zmianę programów treningowych zawodników. Wynikiem ich analizy było wyznaczenie odpowiednio czterech oraz pięciu czynników opisujących strukturę siedmio- i dziesięcioboju lekkoatletycznego.

Pomimo obszernego piśmiennictwa dotyczącego m.in. metodyki i optymalizacji treningu, analizy przebiegów karier, a także poszukiwania wewnętrznej struktury tej konkurencji, dalsze badania dotyczące dziesięcioboju są jak najbardziej zasadne.

2. MATERIAŁ I METODY

2.1. Cel pracy

Celem pracy była analiza przebiegu karier najlepszych dziesięcioboistów z Polski i świata w różnych okresach historii lekkoatletycznego wieloboju męskiego (1960–2015).

Cele szczegółowe uwzględniają:

- analizę przebiegu karier zawodniczych w Polsce i na świecie w ujęciu wieku zawodnika, kolejnych lat treningu oraz lat przed i po uzyskaniu rekordu życiowego,
- analizę udziału poszczególnych konkurencji składowych w wyniku końcowym dziesięcioboju na różnych etapach rozwoju kariery oraz w różnych okresach czasu,
- predykcję rozwoju kariery na najbliższe lata z wykorzystaniem zaawansowanych modeli matematycznych,
- wykorzystanie analizy składowych głównych do zbadania prawidłowości zachodzących pomiędzy konkurencjami składowymi i wynikiem końcowym w dziesięcioboju lekkoatletycznym.

2.2. Pytania badawcze

Dane dotyczące przebiegu karier najlepszych dziesięcioboistów z Polski i świata startujących w latach 1960–2015 oraz przyjęte metody badawcze umożliwiły sformułowanie następujących pytań badawczych:

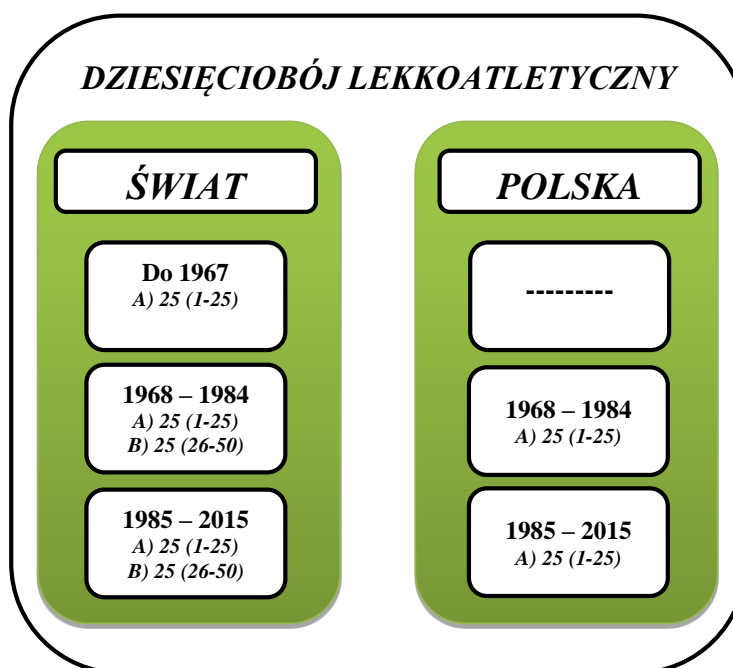
1. Jaki jest optymalny wiek mistrzostwa sportowego, w którym zawodnicy uzyskują najlepsze wyniki sportowe?
2. Czy istnieją różnice pomiędzy etapami rozwoju kariery oraz osiąganymi rezultatami w dziesięcioboju pomiędzy zawodnikami z Polski i zawodnikami grupy światowej?
3. Jaki jest wpływ poszczególnych konkurencji wchodzących w skład dziesięcioboju na końcowy rezultat uzyskiwany w zawodach w poszczególnych etapach rozwoju kariery sportowej?
4. W jakim stopniu punktacja poszczególnych konkurencji wieloboju zmienia znaczenie dziesięciu składowych na końcowy wynik?
5. Czy zastosowanie zaawansowanych metod analizy wyników może wspomóc zdefiniowanie prawidłowości zachodzących pomiędzy poszczególnymi konkurencjami dziesięcioboju a wynikiem końcowym?
6. Na jakim poziomie może kształtować się prognozowany rezultat w najbliższych latach w badanych grupach?

7. W jakim stopniu można wykorzystać wyniki badań empirycznych w praktyce szkolenia na różnych etapach zaawansowania zawodniczego?

2.3. Materiał badawczy

Analiza przebiegu karier najlepszych dziesięcioboistów obejmowała dwie grupy zawodników w różnych okresach historii lekkoatletycznego dziesięcioboju XX oraz XXI wieku (rycina 1). Materiał badawczy obejmował dane przebiegu karier czołowych zawodników z Polski i świata uzyskujących najlepsze wyniki (rekordy życiowe) w dziesięcioboju lekkoatletycznym w latach od 1960 do 2015 roku.

W bazie zgromadzono podstawowe informacje na temat zawodników, dane dotyczące najlepszych startów w każdym roku ich kariery, zawierające rezultat końcowy oraz wyniki cząstkowe uzyskane z poszczególnych konkurencji składowych wyrażone w jednostkach metrycznych i punktowych (dot. okresu 1985–2015). O doborze dziesięcioboistów decydował ich rekord życiowy oraz długość trwania kariery zawodniczej, która nie mogła być krótsza niż 5 lat.



Rycina 1. Materiał badawczy uwzględniający badane okresy

Baza danych (1533 osobostartów) wykorzystana do przeanalizowania karier najlepszych dziesięcioboistów z Polski i świata w przyjętych okresach rozwoju lekkoatletycznego dziesięcioboju została utworzona z wykorzystaniem m.in. bazy danych Międzynarodowej Federacji Lekkiej Atletyki (IAAF, 2016), bazy danych Polskiego Związku Lekkiej Atletyki (PZLA, 2016) oraz bazy udostępnionej przez Salmistu (2016). Pozostałe

dane zgromadzono dzięki publikowanym statystykom lekkoatletycznym tworzone przez Matthews (2013), Van Kuijena (1998), Gąszczaka (2011), roczników statystycznych PZLA obejmujących okres 1968–2006 (PZLA, 1968–2006) oraz periodyków z obszaru tzw. „statystyki lekkoatletycznej” i czasopism lekkoatletycznych („Legkaja Atletyka”, „Atletika” oraz „Lekkoatleta” i wielu innych).

2.4. Metody badawcze

Do przeanalizowania danych dotyczących przebiegu karier czołowych dziesięcioboistów z Polski i świata startujących w przyjętych okresach rozwoju lekkiej atletyki (1960–2015) oraz odpowiedzi na postawione pytania badawcze wykorzystano poniższe metody.

2.4.1. Protokoły badawcze oraz etapy rozwoju kariery sportowej

Ze względu na cel dokonywanej analizy, zebrany materiał badawczy został odpowiednio podzielony i uporządkowany. Badając przebieg ontogenezy sportowej zawodników z Polski i świata, najlepsze wyniki końcowe oraz cząstkowe uzyskane w każdym roku startów, przyporządkowano do trzech protokołów badawczych. Strukturę i sposób podziału danych zamieszczono poniżej:

- Protokół 1 – analiza uzyskanych wyników z uwzględnieniem wieku zawodników
- Protokół 2 – analiza uzyskanych wyników w kolejnych latach treningu
- Protokół 3 – analiza uzyskanych wyników przed i po rekordzie życiowym

W analizie ujętej w protokołach badawczych wykorzystano dane uwzględniające co najmniej 7 przypadków ($n \geq 7$).

Dodatkowo, w celu zbadania wpływu poszczególnych konkurencji składowych na sumaryczny wynik końcowy oraz określenia zależności pomiędzy samymi składowymi dziesięcioboju, zgromadzone dane dotyczące rezultatów końcowych oraz wyników cząstkowych osiągniętych w każdym roku trwania kariery zawodniczej przydzielono do czterech następujących etapów ontogenezy:

- 1 etap (junior) okres startów do 19 roku życia
- 2 etap (młodzieżowiec) okres startów od 20 do 23 roku życia
- 3 etap (mistrzostwa sportowego) od 24 do 30 roku życia
- 4 etap (okres obniżenia wyników) od 31 roku życia do końca kariery

2.4.2. Metody podstawowe

Do scharakteryzowania poszczególnych grup dziesięcioboju startujących w trzech przyjętych okresach rozwoju wieloboju męskiego i sprawdzenia istotności różnic pomiędzy poziomami przeciętnymi uzyskanych rezultatów, w niniejszej pracy wykorzystano podstawowe miary statystyczne (liczebność, średnia arytmetyczna, odchylenie standardowe, itp.) oraz test ANOVA wraz z jego nieparametrycznym odpowiednikiem w przypadku, gdy dane nie miały charakteru gaussowskiego (rozkładu normalnego). Dodatkowo, w celu określenia wpływu poszczególnych konkurencji składowych na wynik końcowy dziesięcioboju oraz zbadania zależności pomiędzy samymi składowymi, użyto analizy korelacji liniowej Pearsona (r_{xy}). Do oceny wiarygodności wykonanych obliczeń, w większości przeprowadzonych analiz, przyjęto istotność statystyczną na poziomie $\alpha = 0,05$ lub $\alpha = 0,01$ (Stanisz, 2006; StatSoft, 2006).

2.4.3. Metody analizy wielowymiarowej

Model segmentowy

Do oceny i opisu przebiegu karier zawodniczych najlepszych dziesięcioboistów z Polski i świata startujących w latach 1960–2015, oprócz opisanych powyżej metod, zastosowano również model regresji segmentowej. Model ten wykorzystywany jest w estymacji nieliniowej zjawisk, w których relacje pomiędzy zmienną objaśnianą (średni wynik końcowy), a jedną lub kilkoma zmiennymi objaśniającymi (przyjęte protokoły badawcze), mogą zmieniać się w zależności od wartości czynnika wpływającego na poziom badanego zjawiska (wartości zmiennej objaśniającej). Ten typ regresji charakteryzuje się tym, że przedział zmienności zmiennej objaśniającej dzielony jest na segmenty (przedziały), a dla każdego utworzonego segmentu wyznaczany jest odrębny model liniowy. Zastosowanie takiego modelu regresyjnego może mieć w niektórych przypadkach wpływ na poprawę wartości dopasowania modelu do badanego zjawiska (Biecek, 2014; Liu, Wu, Zidek, 1997; Muggeo, 2008; Ryan, Porth, 2007; StatSoft, 2006).

Analiza dynamiki zjawisk

Do analizy zmian poziomu badanego zjawiska w czasie oraz jego dynamiki wykorzystano szeregi czasowe (szeregi dynamiczne), w których wartości badanego zjawiska (średnie wyników sumarycznych w protokołach badawczych) są obserwowane w kolejnych jednostkach czasu (wiek, kolejne lata treningu oraz lata przed i po uzyskaniu rekordu życiowego zawodników). Ocena dynamiki badanego zjawiska polegała na analizie szeregów

czasowych poprzez określenie szybkości, tempa i intensywności zmian poziomu zjawiska, a jej podstawowymi miernikami były indeksy o podstawie stałej (indeksy jednopodstawowe) oraz o podstawie zmiennej (indeksy łańcuchowe). Ten rodzaj oceny dynamiki wykorzystał w swej pracy Maszczyk (2013).

Indeksy jednopodstawowe $i_{t/k}$ umożliwiały określenie tendencji badanego zjawiska przez porównanie jego poziomu w danym okresie czasu z okresem bazowym, którego wartość przyjęto na poziomie pierwszego, uwzględnionego w analizie średniego wyniku w protokołach. Ten rodzaj indeksów wyznaczono na podstawie wzoru:

$$i_{t/k} = \frac{y_t}{y_k}, \quad (1)$$

gdzie: y_t – wielkość zjawiska w okresie badanym, y_k – wielkość zjawiska w okresie bazowym.

Indeksy łańcuchowe uwzględniają okres badany zjawiska oraz okres bezpośrednio poprzedzający. Aby wyznaczyć wartość indeksu o podstawie zmiennej wykorzystano wzór:

$$i_{t/(t-1)} = \frac{y_t}{y_{t-1}}, \quad (2)$$

gdzie y_t – wielkość zjawiska w okresie badanym, y_{t-1} – wielkość zjawiska w okresie poprzedzającym.

Model neuronowy

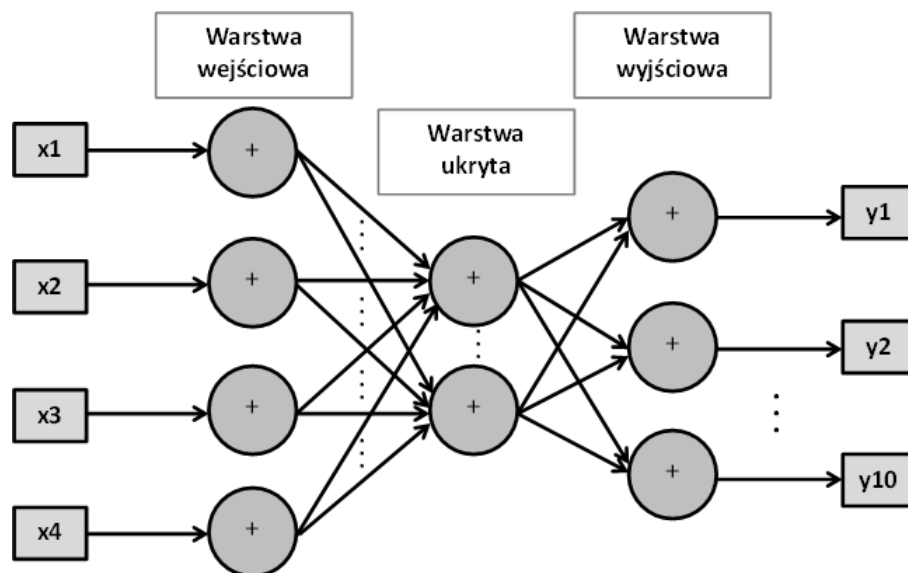
Sztuczne sieci neuronowe (SSN) to modele neuronowe o strukturze warstwowej składającej się z warstwy wejściowej, warstwy ukrytej oraz warstwy wyjściowej. Tego typu modele wykorzystuje się najczęściej do predykcji, klasyfikacji i rozpoznawania wzorców.

W niniejszej pracy sztuczne sieci neuronowe wykorzystano do modelowania teoretycznego przebiegu kariery dziesięcioboju polskich i zagranicznych zawodników w trzech przyjętych protokołach badawczych oraz do estymacji przyrostów punktowych wyników uzyskanych w każdej z konkurencji składowych mających wpływ na oczekiwany rezultat końcowy dziesięcioboju lekkoatletycznego. Modele predycyjne zrealizowano w oparciu o sieci RBF – sieci o radialnych funkcjach bazowych (ang. *Radial Basis Functions*), mających następującą postać (wzór 3):

$$G(x; c) = G(r(x, c)) \quad (3)$$

gdzie, x – dany argument w przestrzeni R^D , c – punkt ustalony w przestrzeni R^D , tzw. centrum, $r(x, c)$ – odległość między punktami x i c .

Zaletami sieci RBF, której przykładową architekturę przedstawia rycina 2, jest to, że posiada tylko jedną warstwę ukrytą, proces uczenia sieci jest łatwiejszy w stosunku do sieci MLP oraz możliwa jest aproksymacja dowolnej funkcji ciągłej z dowolną dokładnością. Sieci RBF zostały wybrane również ze względu na to, iż proces ich uczenia nie jest procesem iteracyjnym i w przeciwieństwie do perceptronów wygenerowane modele są powtarzalne, a co za tym idzie, są weryfikowalne. Podczas uczenia RBF dla tych samych parametrów struktury otrzymujemy takie same modele, natomiast w perceptronach wielowarstwowych modele te mogą się różnić. Dlatego też w pracy zdecydowano się jedynie na sieci RBF (Bishop, 2006; Neto, 2013; Osowski, 1996; Przednowek, 2014; Tadeusiewicz, 1993). Doboru optymalnej liczby neuronów warstwy ukrytej dokonano na podstawie otrzymanych w toku analizy wartości pierwiastków średniego błędu kwadratowego (RMSE) generowanych przez sieć.



Rycina 2. Przykładowa struktura sieci RBF

Analiza składowych głównych

W badaniach dotyczących złożoności lekkoatletycznego dziesięcioboju oraz zdefiniowania jego struktury zgromadzony (wielowymiarowy) materiał badawczy poddano analizie składowych głównych (Principal Component Analysis – PCA). Metoda PCA wykorzystywana jest najczęściej do eksploracji, projekcji oraz wizualizacji wielowymiarowych danych, a głównym celem zastosowania tej metody w niniejszej pracy było zdefiniowanie nowych składowych charakteryzujących „ukrytą” strukturę dziesięcioboju

w różnych grupach zawodniczych oraz różnych okresach rozwoju tej wymagającej dyscypliny.

Wynikiem analizy PCA, opierającej się na zaawansowanych przekształceniach macierzowych (wzór 4), są nowoutworzone składowe główne będące kombinacjami liniowymi wektorów poddanych analizie w kierunkach maksymalizujących opis wariancji, która jest głównym indeksem projekcji w opisywanej metodzie. Utworzone składowe, reprezentujące dane wejściowe (całość wariancji zebranych danych), określają współrzędne obiektów i parametrów w nowej przestrzeni, przez co możliwe jest zdefiniowanie wpływu poszczególnych zmiennych i ich wzajemnych powiązań na strukturę badanego zjawiska. Redukcja wymiarowości danych, a więc dobór odpowiedniej liczby składowych uwzględnionych w dalszych analizach, odbywa się poprzez zbadanie wartości własnych składowych głównych określających procent opisywanej wariancji danych. O ilości składowych poddanych interpretacji oraz dalszym przekształceniom decyduje przyjęte przez badacza kryterium, np. Kaisera, test osypiska lub inne. W niniejszej pracy zastosowano kryterium Kaisera, które eliminuje z dalszej analizy te składowe główne, których wartości własne są mniejsze od 1 (Bishop, 2006; Daszykowski, Walczak, 2008; Han, Kamber, 2006; Hardle, Simar, 2007; James, Witten, Hastie, Tibshirani, 2013; Kassambara, 2017a, 2017b).

$$X_{[m,n]} = T_{[m,f]} * P_{[f,n]}^T + E_{[m,n]} \quad (4)$$

gdzie: X – dane o m próbkach i n zmiennych; T – macierz wyników, P – macierz wag; E – macierz reszt modelu PCA.

2.5. Realizacja obliczeń

Wszystkie przeprowadzone w niniejszej pracy obliczenia zostały wykonane z wykorzystaniem programów do analiz statystycznych – Statistica 12 (StatSoft, 2014) oraz darmowego środowiska programowania R wraz z dodatkowymi pakietami (R Core Team, 2016).

3. WYNIKI

3.1. Zmiany poziomu wyników lekkoatletycznego dziesięcioboju w trzech okresach rozwoju lekkiej atletyki

W celu określenia dynamiki rozwoju karier zebrany materiał, w ujęciu badanych grup i przyjętych okresach rozwoju lekkiej atletyki, przedstawiono za pomocą podstawowych miar statystycznych (tabela 1), a także trzech protokołów badawczych (tabela 3–9). Dodatkowo do sprawdzenia istotnych statystycznie różnic pomiędzy przeciętnymi poziomami wyników końcowych zastosowano analizę wariancji ANOVA oraz test post hoc Tukeya.

Rezultaty przeprowadzonej analizy wariancji wykazały istotne statystycznie różnice w średnich poziomach wyników końcowych uzyskiwanych przez zawodników z badanych grup i okresów ($p < 0,001$). Dodatkowo, na podstawie testu post-hoc Tukeya (tabela 2) stwierdzono brak istotnych różnic pomiędzy poziomami wyników w grupie polskich zawodników startujących w latach 1968–1984 (PL68) oraz 1985–2015 (PL85), jak również grupą Polaków z okresu 1985–2015 (PL85) i grupą ze świata (WR60) startującą w latach 1960–1967. W pozostałych okresach i grupach zaobserwowano istotne na poziomie $p < 0,05$ różnice pomiędzy zdobywanymi wynikami końcowymi.

Tabela 1. Charakterystyki opisowe badanych grup w trzech okresach rozwoju lekkiej atletyki

GRUPA ($p=0,001$)	OKRES	SYMBOL	N	$\bar{x} \pm sd$	Minimum	Maksimum
ŚWIAT	1985-2015	WR85	562	8078±527	5187	9045
	1968-1984	WR68	424	7874±442	6343	8798
	1960-1967	WR60	143	7245±463	5312	8709
POLSKA	1985-2015	PL85	194	7153±563	4569	8566
	1968-1984	PL68	210	7236±559	5163	8222

Tabela 2. Istotność różnic uzyskiwanych wyników końcowych w badanych okresach rozwoju lekkiej atletyki

OKRES	WR85	WR68	WR60	PL85	PL68
WR85	-----	0,0000***	0,0000***	0,0000***	0,0000***
WR68	0,0000***	-----	0,0000***	0,0000***	0,0000***
WR60	0,0000***	0,0000***	-----	0,5476	0,9999
PL85	0,0000***	0,0000***	0,5476	-----	0,4999
PL68	0,0000***	0,0000***	0,9999	0,4999	-----

*istotność statystyczna na poziomie: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$*

We wszystkich analizach dotyczących rozwoju wyniku sportowego, w których zastosowano trzy przyjęte protokoły badawcze dla wyznaczonych grup zawodniczych i okresów, wykorzystano dane uwzględniające co najmniej 7 przypadków ($n \geq 7$).

Analizę sumarycznych wyników końcowych 25 najlepszych zawodników świata startujących w okresie od 1985 do 2015 w trzech protokołach badawczych prezentuje tabela 3. Na podstawie wykonanych obliczeń stwierdzono, że pierwsze starty

dziesięciooboistów miały miejsce już w wieku 16 lat, a koniec kariery następował w wieku nawet 38 lat. Najlepsze wyniki zawodnicy uzyskiwali w 27 roku życia (średnia 8603 pkt.). Analizując długość oraz przebieg karier zawodniczych w tej grupie (protokół 2), zaobserwowano, iż przeciętna kariera dziesięciooboisty trwała 15 lat (najdłuższa kariera aż 22 lata), a najwyższe wyniki końcowe, kształtowały się na średnim poziomie 8555 pkt., zdobywano w 10 roku startów. Na podstawie obliczeń otrzymanych w trzecim protokole badawczym zauważono, że rekordy życiowe najlepszych dziesięciooboistów świata wynosiły przeciętnie 8735 punktów.

Tabela 3. Podstawowe statystyki opisowe w grupie zawodników świata (1-25) startujących w latach 1985–2015 (n = 282)

Protokół 1			Protokół 2			Protokół 3		
Wiek	n	$\bar{x} \pm sd$	Rok kariery	n	$\bar{x} \pm sd$	Lata przed i po rekordzie	n	$\bar{x} \pm sd$
16	1*	6873±0	1	22	7180±622	-13	1*	6671±0
17	4*	6455±882	2	22	7604±480	-12	1*	7351±0
18	10	7209±428	3	21	7944±381	-11	1*	7771±0
19	18	7466±289	4	21	8160±439	-10	3*	6570±1226
20	17	7676±453	5	23	8285±327	-9	6*	7285±696
21	17	7999±432	6	24	8385±334	-8	9	7348±367
22	23	8266±279	7	23	8534±192	-7	12	7662±478
23	24	8279±309	8	18	8502±183	-6	17	7757±543
24	22	8445±267	9	21	8549±203	-5	19	7961±465
25	22	8488±237	10	16	8555±146	-4	20	8126±409
26	20	8502±204	11	16	8499±344	-3	22	8273±397
27	21	8603±220	12	16	8425±293	-2	23	8410±259
28	19	8540±252	13	11	8325±404	-1	23	8455±222
29	13	8486±337	14	7	8379±329	0	25	8735±135
30	14	8465±262	15	7	8259±176	1	17	8550±190
31	12	8310±336	16	4*	8264±203	2	18	8442±262
32	10	8292±274	17	4*	8219±394	3	17	8432±223
33	7	8268±308	18	2*	8119±173	4	15	8371±251
34	4*	8164±143	19	2*	8184±232	5	9	8310±225
35	2*	8184±232	21	1*	8109±0	6	11	8240±361
37	1*	8109±0	22	1*	8097±0	7	6*	8186±225
38	1*	8097±0				8	3*	8180±164
						9	1*	8037±0
						10	2*	7933±250
						11	1*	8097±0

* - dane nie uwzględnione w analizie $n < 7$

Analiza rozwoju karier i średnich wyników końcowych w poszczególnych protokołach w drugiej grupie dziesięciooboistów ze świata (tabela 4), którzy startowali w rozpatrywanym okresie czasu (1985–2015), wykazała, że pierwsze starty mają miejsce, analogicznie jak w grupie najlepszych 25 zawodników świata, już w wieku 16 lat i trwają średnio 15 lat. Koniec kariery następował najczęściej w 32 roku życia. Najlepsze rezultaty w badanej grupie zdobywano w wieku 28 lat (rok później w stosunku do grupy 1–25) uzyskując 8268 punktów. Biorąc pod uwagę rozwój kariery (kolejne lata kariery), stwierdzono, że zawodnicy najwyższe

wyniki zdobywali w 12 roku kariery (średnia 8351 pkt.), a rekordy życiowe kształtowały się na poziomie 8506 punktów.

Tabela 4. Podstawowe statystyki opisowe w grupie zawodników świata (26-50) startujących w latach 1985–2015 (n = 280)

Protokół 1			Protokół 2			Protokół 3		
Wiek	n	$\bar{x} \pm sd$	Rok kariery	n	$\bar{x} \pm sd$	Lata przed i po rekordzie	n	$\bar{x} \pm sd$
16	1*	7053±0	1	21	6996±541	-12	1*	6505±0
17	4*	6565±887	2	19	7433±470	-11	5*	6734±633
18	11	7065±555	3	20	7734±418	-10	10	7025±534
19	16	7299±412	4	20	7898±394	-9	10	7400±409
20	18	7614±360	5	22	7957±441	-8	12	7539±545
21	19	7775±475	6	23	8087±353	-7	14	7677±406
22	22	8011±359	7	22	8166±215	-6	15	7791±483
23	23	8052±400	8	22	8142±302	-5	17	7836±440
24	23	8189±262	9	22	8222±180	-4	19	7871±376
25	21	8068±278	10	20	8171±156	-3	24	8045±323
26	21	8165±231	11	18	8316±210	-2	25	8156±131
27	20	8193±226	12	14	8351±152	-1	26	8225±180
28	19	8268±213	13	11	8112±275	0	25	8506±40
29	16	8194±339	14	10	7783±548	1	17	8231±204
30	14	8195±290	15	8	7880±383	2	15	7894±405
31	10	7946±510	16	3*	7890±406	3	11	8073±250
32	7	7971±370	17	2*	7884±445	4	11	8133±230
33	6*	8174±305	18	3*	8032±197	5	7	8111±434
34	4*	7867±481				6	6*	8088±287
35	3*	7983±269				7	5*	7960±237
36	1*	7569±0				8	1*	7708±0
37	1*	7849±0				9	1*	7191±0
						10	1*	7703±0
						11	1*	7569±0
						12	1*	7849±0

* - dane nie uwzględnione w analizie $n < 7$

Na podstawie zebranych danych w grupie 50 dziesięcioboistów z czołówki światowej startujących w okresie 1968–1984 dokonano analizy średnich rezultatów w przyjętych protokołach badawczych. Wyniki obliczeń zebrano w tabeli 5 i 6. Analizując wyniki z tabeli 5, stwierdzono, że przeciętna kariera najlepszych dziesięcioboistów z tego okresu zaczynała się w wieku 18 lat i kończyła po 29 roku życia, a najlepsze rezultaty zawodnicy zdobywali w wieku 27 lat (8314 pkt.). Wieloboisci z badanej grupy uzyskiwali najwyższe wyniki końcowe już w siódmym roku startów (wyniki na średnim poziomie 8340 pkt.), a ich kariery trwały około 11 lat. Rekord życiowy w tej grupie wynosił średnio 8497 punktów. Analizując kariery zawodników z drugiej grupy (tabela 6), zaobserwowano, że początek kariery miał miejsce, podobnie jak w grupie pierwszej, w wieku ok. 18 lat, a zawodnicy w większości kończyli swą karierę po 28 roku życia. W czasie trwania ok. 10 letniej kariery wielobojowej okres uzyskiwania najlepszych wyników przypadał na 9 rok startów (średni rezultat na poziomie 8098 pkt.), a rekordy życiowe wynosiły średnio 8242 punkty.

Tabela 5. Podstawowe statystyki opisowe w grupie zawodników świata (1–25) startujących w latach 1968–1984 (n = 213)

Protokół 1			Protokół 2			Protokół 3		
Wiek	n	$\bar{x} \pm sd$	Rok kariery	n	$\bar{x} \pm sd$	Lata przed i po rekordzie	n	$\bar{x} \pm sd$
17	6*	7144±106	1	22	7169±298	-12	1*	7097±0
18	10	7368±423	2	23	7546±278	-11	1*	7104±0
19	17	7484±369	3	24	7773±299	-10	1*	7245±0
20	19	7746±317	4	22	7962±289	-9	3*	7201±273
21	22	7826±430	5	21	8101±214	-8	5*	7434±302
22	22	7976±427	6	25	8266±246	-7	12	7382±488
23	19	8085±413	7	19	8340±259	-6	19	7517±435
24	18	8158±363	8	17	8323±300	-5	22	7684±356
25	17	8303±261	9	13	8246±365	-4	22	7913±360
26	17	8312±292	10	10	8210±338	-3	23	8015±185
27	12	8314±201	11	7	8195±117	-2	23	8182±242
28	9	8243±136	12	5*	8183±252	-1	24	8283±230
29	8	8128±168	13	3*	8258±213	0	25	8497±158
30	6*	8211±183	14	1*	8062±0	1	11	8121±221
31	4*	8113±286	15	1*	8067±0	2	6*	8087±427
32	4*	8035±558				3	6*	8045±363
33	2*	7894±626				4	4*	8251±183
35	1*	8067±0				5	2*	8122±98
						6	1*	8165±0
						7	1*	8067±0
						8	1*	8062±0

* - dane nie uwzględnione w analizie $n < 7$

Tabela 6. Podstawowe statystyki opisowe w grupie zawodników świata (26–50) startujących w latach 1968–1984 (n = 211)

Protokół 1			Protokół 2			Protokół 3		
Wiek	n	$\bar{x} \pm sd$	Rok kariery	n	$\bar{x} \pm sd$	Lata przed i po rekordzie	n	$\bar{x} \pm sd$
17	1*	7320±0	1	18	7025±267	-11	1*	6637±0
18	8	7056±267	2	21	7364±294	-10	1*	7036±0
19	15	7218±289	3	20	7565±224	-9	2*	7262±185
20	16	7379±406	4	22	7804±300	-8	6*	7271±388
21	20	7673±308	5	24	7967±228	-7	10	7156±354
22	21	7811±314	6	21	8020±195	-6	10	7405±408
23	22	7886±354	7	21	7981±244	-5	17	7547±350
24	21	7918±296	8	20	8033±197	-4	21	7591±362
25	22	7982±182	9	11	8098±183	-3	23	7685±298
26	17	8104±134	10	11	8061±223	-2	24	7963±190
27	17	8050±176	11	6*	7935±176	-1	23	8013±175
28	11	8004±261	12	3*	8266±99	0	25	8242±52
29	5*	8032±260	13	3*	7689±169	1	16	7992±186
30	3*	7712±203	14	2*	7893±36	2	11	8025±176
31	3*	8063±275	15	1*	7974±0	3	8	7830±206
32	1*	7974±0	16	1*	7791±0	4	5*	7806±138
33	2*	7820±40	17	1*	7522±0	5	3*	7686±163
34	1*	7522±0	18	1*	7328±0	6	1*	7328±0
35	1*	7328±0	19	1*	7209±0	7	1*	7209±0
36	1*	7209±0	20	1*	7204±0	8	1*	7204±0
37	1*	7204±0	21	1*	7271±0	9	1*	7271±0
38	1*	7271±0	22	1*	7103±0	10	1*	7103±0
39	1*	7103±0						

* - dane nie uwzględnione w analizie $n < 7$

Badając przebieg karier dziesięcioboistów w grupie światowej startujących w latach 1960–1967 (tabela 7), zaobserwowano, iż najlepsze rezultaty końcowe w tej wymagającej konkurencji wielobojowej osiągnano w wieku 28 lat, gdzie średni wynik kształtował się na poziomie 7475 punktów. Natomiast analizując kolejne lata ontogenezy zawodniczej,

stwierdzono, że najlepsze wyniki sumaryczne uzyskiwano w ósmym roku kariery (7481 pkt.), a rekord życiowy był w tej grupie zawodniczej wynosił średnio 7716 punktów.

Tabela 7. Podstawowe statystyki opisowe w grupie zawodników świata (1–25) startujących w latach 1960–1967 (n = 143)

Protokół 1			Protokół 2			Protokół 3		
Wiek	n	$\bar{x} \pm sd$	Rok kariery	n	$\bar{x} \pm sd$	Lata przed i po rekordzie	n	$\bar{x} \pm sd$
18	1*	5312±0	1	12	6640±509	-7	1*	6760±0
19	5*	6499±606	2	16	6797±360	-5	6*	6524±718
20	6*	6977±504	3	19	7225±345	-4	10	6734±429
21	8	7358±289	4	19	7261±375	-3	12	6986±240
22	10	7425±418	5	19	7471±387	-2	23	7147±408
23	13	7254±524	6	18	7409±396	-1	23	7314±313
24	14	7210±502	7	10	7380±244	0	25	7716±363
25	10	7217±261	8	9	7481±261	1	17	7373±330
26	15	7268±421	9	7	7403±413	2	11	7343±222
27	14	7446±391	10	3*	7840±800	3	9	7133±192
28	11	7475±492	11	4*	7344±360	4	4*	7260±525
29	9	7376±233	12	3*	7634±337	5	2*	7050±146
30	10	7324±358	13	2*	7032±122			
31	6*	7023±228	14	1*	7080±0			
32	5*	7101±217	15	1*	7153±0			
33	4*	7121±265						
34	1*	7204±0						
35	1*	7380±0						

* - dane nie uwzględnione w analizie $n < 7$

Analizę przebiegu karier najlepszych polskich dziesięcioboistów startujących w dwóch rozpatrywanych okresach, tj. 1985–2015 oraz 1968–1984, w przyjętych protokołach badawczych zaprezentowano w tabeli 8 i 9. Na podstawie wyników z tabeli 8 (okres 1985–2015) określono, że pierwsze starty polskich zawodników miały miejsce już w 16 roku życia, a ostatnie nawet w wieku 31 lat. Przeciętna kariera zawodnika kończyła się po 27 roku życia, a najlepsze rezultaty osiągnęto w wieku 25 lat (średni wynik na poziomie 7552 pkt.). Badając kolejne lata startów, stwierdzono, że najdłuższa kariera trwała 16 lat, przy czym w większości przypadków koniec kariery następował już po 10 roku startów. Najlepsze rezultaty osiągnięte przez polskich dziesięcioboistów przypadły na 9 rok startów, gdzie średni poziom wyniku wynosił 7544 punktów, a rekord życiowy jaki uzyskiwali zawodnicy w tym okresie był równy średnio 7652 punkty.

W drugiej grupie zawodników z Polski (tabela 9) startujących w latach 1968–1984 zaobserwowano, że pierwsze starty miały miejsce, podobnie jak w poprzedniej grupie, już w wieku 16 lat, a ostatecznie starty zawodników miały miejsce w wieku 32 lat. W większości przypadków kariera zawodnika trwała od 18 do 28 roku życia, a najlepsze wyniki osiągnęto w wieku 26 lat (średnio 7734 pkt.). Analizując kolejne lata kariery, stwierdzono, że najwyższe wyniki w badanym okresie uzyskiwane były, identycznie jak w poprzedniej grupie polskich zawodników, w dziewiątym roku startów i były one na wyższym poziomie równym

średnio 7724 punktów. Rekord życiowy zawodników z badanej grupy został obliczony na poziomie 7710 punktów.

Tabela 8. Podstawowe statystyki opisowe w grupie 25 najlepszych polskich zawodników startujących w latach 1985–2015 (n = 194)

Protokół 1			Protokół 2			Protokół 3		
Wiek	n	$\bar{x} \pm sd$	Rok kariery	n	$\bar{x} \pm sd$	Lata przed i po rekordzie	n	$\bar{x} \pm sd$
16	5*	5433±588	1	18	6099±668	-12	1*	6112±0
17	10	6225±390	2	19	6712±372	-10	2*	6582±621
18	15	6679±377	3	22	6964±347	-9	3*	6407±1026
19	13	6954±325	4	22	7215±332	-8	4*	6800±735
20	19	7016±472	5	24	7346±311	-7	6*	6301±1088
21	22	7154±333	6	24	7378±394	-6	10	6373±437
22	21	7207±361	7	21	7438±313	-5	14	6745±547
23	20	7365±245	8	16	7459±302	-4	15	7063±431
24	22	7478±301	9	9	7544±317	-3	22	7141±437
25	14	7552±356	10	7	7464±411	-2	24	7184±469
26	13	7527±351	11	5*	7500±642	-1	23	7357±407
27	7	7729±447	12	2*	7602±180	0	25	7652±302
28	6*	7543±213	13	2*	7366±664	1	19	7371±303
29	4*	7299±327	14	1*	7603±0	2	13	7343±211
30	1*	7359±0	15	1*	7359±0	3	9	7299±165
31	2*	7184±235	16	1*	7017±0	4	4*	7233±234

* - dane nie uwzględnione w analizie $n < 7$

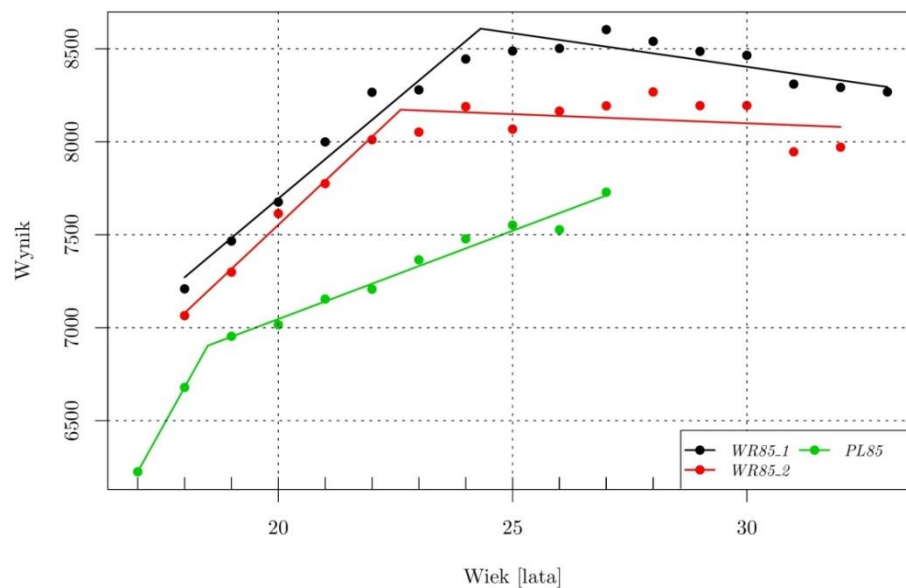
Tabela 9. Podstawowe statystyki opisowe w grupie 25 najlepszych polskich zawodników startujących w latach 1968–1984 (n = 210)

Protokół 1			Protokół 2			Protokół 3		
Wiek	n	$\bar{x} \pm sd$	Rok kariery	n	$\bar{x} \pm sd$	Lata przed i po rekordzie	n	$\bar{x} \pm sd$
16	1*	5163±	1	23	6347±413	-10	2*	5642±677
17	5*	6047±464	2	24	6771±437	-9	2*	5883±859
18	9	6507±443	3	25	7077±280	-8	3*	6588±280
19	16	6717±383	4	25	7249±379	-7	6*	6666±346
20	20	6841±380	5	23	7475±286	-6	12	6808±215
21	24	7099±390	6	24	7528±313	-5	17	6899±523
22	25	7263±342	7	18	7618±378	-4	24	6952±543
23	24	7411±303	8	19	7525±448	-3	24	7218±422
24	21	7553±349	9	9	7724±386	-2	24	7319±483
25	17	7611±421	10	10	7548±501	-1	25	7503±376
26	14	7734±340	11	6*	7651±470	0	25	7710±298
27	12	7588±475	12	2*	6971±922	1	20	7462±427
28	8	7627±400	13	1*	7688±	2	10	7592±405
29	6*	7597±406	14	1*	7654±	3	10	7211±558
30	4*	7116±643				4	4*	7261±435
31	2*	7257±610				5	1*	7688±
32	2*	7278±532				6	1*	7654±

* - dane nie uwzględnione w analizie $n < 7$

W celu oceny związków pomiędzy rezultatami uzyskiwanymi przez najlepszych dziesięcioboistów z Polski i świata, a przebiegiem kariery zawodniczej w ujęciu wieku, kolejnych lat treningu oraz lat przed i po rekordowych wynikach, wykorzystano model regresji segmentowej (ryciny 3–8). Dla każdego badanego okresu oraz grupy wyznaczono osobne modele regresji, wyznaczono postać kierunkową trendów opisujących każdy model

oraz wartości współczynnika determinacji (R^2) określający dopasowanie modelu do badanego zjawiska.

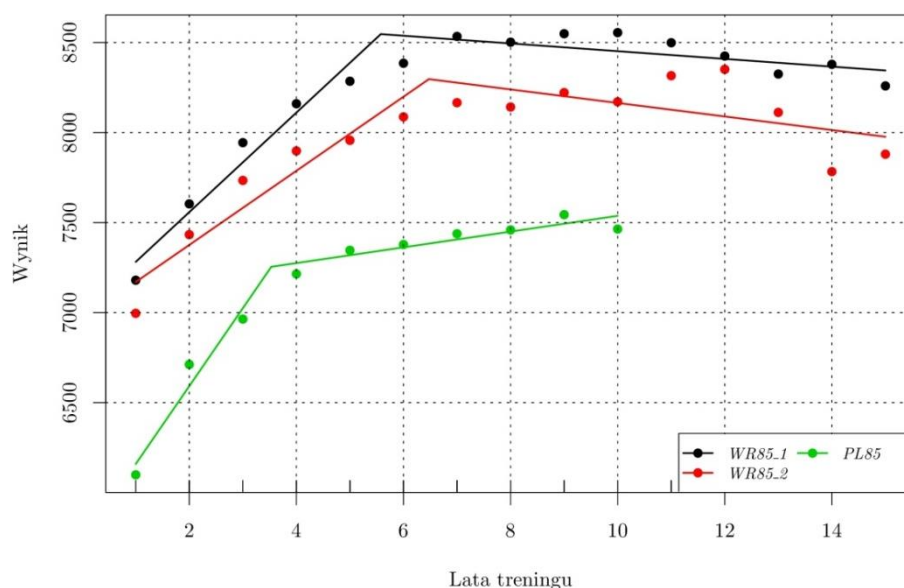


Rycina 3. Analiza regresji segmentowej w ujęciu protokołu pierwszego dla okresu 1985–2015

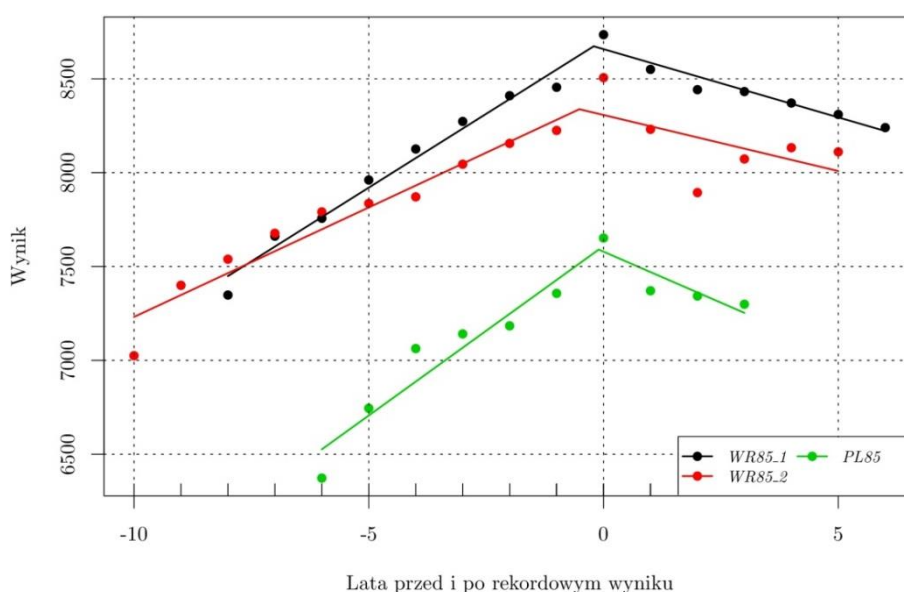
Dokonując analizy otrzymanych modeli charakteryzujących przebieg karier dziesięcioboistów startujących w okresie 1985–2015 w kolejnych latach życia (rycina 3), zaobserwowano, że w grupie zawodników świata wyznaczono dwa rodzaje trendów. Pierwszy z nich odzwierciedlał największy postęp osiągniętych wyników (dodatnia wartość współczynnika kierunkowego), natomiast drugi obrazował trend ujemny wskazujący na spadek osiągniętych rezultatów w kolejnych latach życia. Wśród najlepszych zawodników świata, osiągających w stosunku do pozostałych grup wyższe średnie rezultaty, największy postęp w karierze zaobserwowano do 24 roku życia, podczas gdy w drugiej grupie wzrost ten zahamował w wieku 22 lat. Po okresie największego wzrostu uwidocznił się okres stabilizacji osiągniętych wyników, następnie wiek osiągnięcia najlepszych życiowych rezultatów i stopniowy spadek. Modele trendów wyznaczone dla polskiej grupy zawodniczej wskazują na ciągły, obserwowany w całym okresie ontogenezy sportowej, postęp osiągniętych rezultatów. Początkowe lata startów dziesięcioboistów (do 20 roku życia) charakteryzowały się dużym wzrostem poziomu osiągniętych wyników, podczas gdy w kolejnych latach uzyskiwane przyrosty były nie tak znaczne jak na samym początku kariery.

W drugim rozpatrywanym protokole badawczym opisującym kolejne lata treningu (rycina 4) wyznaczono zbliżone modele regresji segmentowej, gdzie wśród zawodników ze świata pierwszy segment wskazuje na znaczący postęp, a następny charakteryzuje stopniowy

spadek osiąganych średnich rezultatów. W grupie polskich wieloboistów, podobnie jak w protokole pierwszym, zaobserwowano trendy o dodatnim współczynniku kierunkowym. Dokonując analizy modeli segmentowych oraz średnich wyników końcowych uzyskanych w latach przed i po rekordzie życiowym zawodników (rycina 5) we wszystkich trzech grupach z rozpatrywanego okresu (1985–2015), uwidoczniły się trendy dodatnie opisujące postęp osiąganych rezultatów do momentu osiągnięcia rekordu życiowego oraz trendy ujemne wskazujące na spadek poziomu osiąganych wyników po rekordowych dla dziesięcioboistów rezultatach.



Rycina 4. Analiza regresji segmentowej w ujęciu protokołu drugiego dla okresu 1985–2015

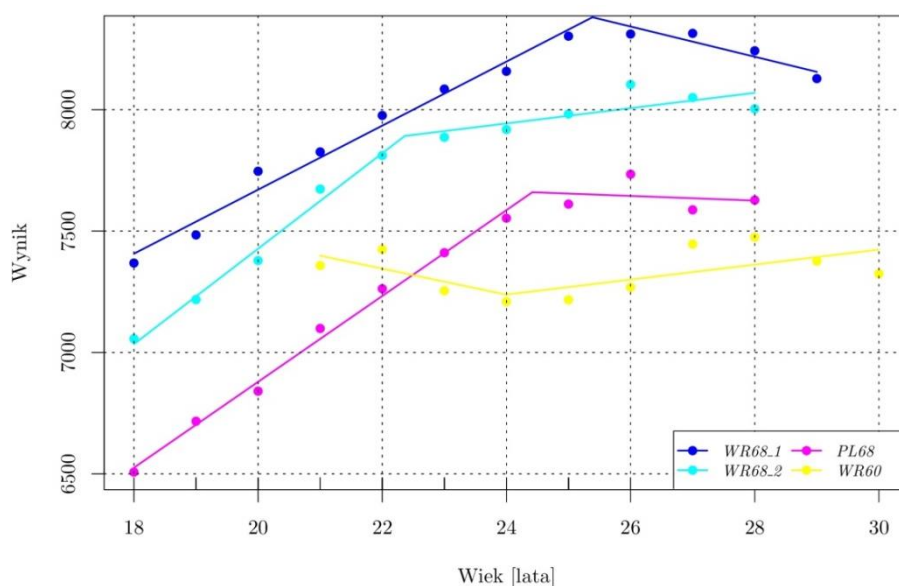


Rycina 5. Analiza regresji segmentowej w ujęciu protokołu trzeciego dla okresu 1985–2015

Badając poziom rozwoju średnich wyników końcowych uzyskanych przez dziesięcioboistów w okresie 1968–1984 oraz wyznaczone modele segmentowe zobrazowane na rycinach (rycina 6–8), stwierdzono, że w kolejnych latach życia (rycina 6) najlepszych zawodników świata do 25 roku życia widoczny był ciągły postęp osiąganych rezultatów, który przedstawia dodatnia postać linii trendu pierwszego wyznaczonego segmentu. Przez następne lata (od 25 do 27 roku życia) wśród dziesięcioboistów z tej grupy odznaczył się okres stabilizacji osiąganych wyników, podczas którego uzyskiwali oni rezultaty na najwyższym poziomie (powyżej 8300 pkt.), a w kolejnych latach okres słabszych startów, który opisany został przez ujemną postać trendu liniowego. Podobną postać modelu regresji segmentowej można zaobserwować dla polskiej grupy zawodników startujących w tym okresie, gdzie dodatnia linia trendu wskazuje na znaczny postęp rozwoju wyniku sportowego trwający do 24 roku życia, po którym dziesięciobości uzyskują wyniki na najwyższym poziomie wynoszącym około 7600 pkt. (w tym rekord życiowy 7724 pkt.).

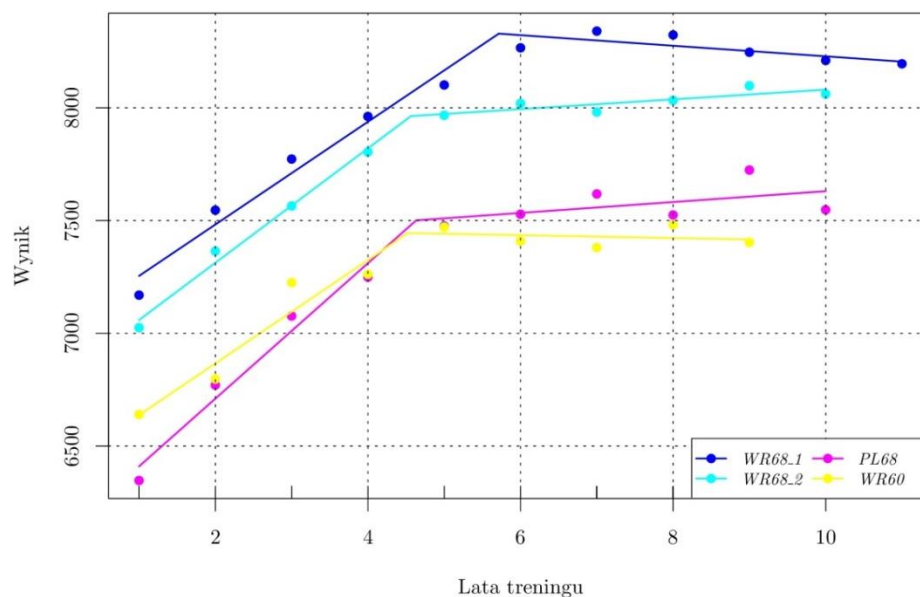
W drugiej grupie dziesięcioboistów ze świata wyznaczony model segmentowy (trendy liniowe) wskazują na ciągły postęp osiąganych rezultatów w aspekcie kolejnych lat życia. Znaczny postęp rozwoju wyniku w tej grupie zaobserwowano do 22 roku życia, po którym w kolejnych latach zawodnicy uzyskują lepsze wyniki, lecz ich przyrosty nie są tak duże jak wcześniej. Analizując średnie wyniki uzyskiwane przez dziesięcioboistów w kolejnych latach treningu oraz otrzymane modele regresji (rycina 7), stwierdzono, że średnie wyniki uzyskiwane przez najlepszych zawodników świata w całym okresie treningów były na wyższym poziomie w stosunku do pozostałych grup tego okresu. Model segmentowy wyznaczony dla tej grupy wskazuje na ciągły postęp rozwoju wyników trwający do 6 roku startów, po którym zawodnicy osiągają optymalną formę i najlepsze średnie rezultaty (rekord życiowy w siódmym roku na poziomie 8340 pkt.). Następne lata treningu oraz ujemny trend liniowy wskazują na spadek rozwoju wyniku sportowego. W drugiej grupie dziesięcioboistów ze świata oraz polskiej grupie wyznaczone modele segmentowe wskazują na bardzo podobny przebieg rozwoju wyników, który różni się poziomem osiąganych średnich rezultatów końcowych. W obu przypadkach największy rozwój wyników trwał do 4 roku startów (trend o dodatnim współczynniku kierunkowym i dużym nachyleniu prostej), po którym następuje stabilizacja wyników z niewielkim trendem wzrostowym w drugim segmencie. Zarówno w jednej i drugiej grupie zawodników rekord życiowy uzyskiwano w 9 roku startów (Polska – 7724 pkt., świat – 8098 pkt.). Na rycinie 8 charakteryzującej lata przed i po osiągnięciu najlepszych życiowych rezultatów przedstawiono średnie wyniki sumaryczne osiągnięte przez dziesięcioboistów startujących w latach 1968–1984. W grupie najlepszych zawodników

świata do momentu osiągnięcia rekordu życiowego (8497 punktów) obserwowano ciągły wzrost uzyskiwanych wyników, a wyznaczony model regresji, nie posiadający punktu przełamania, charakteryzował się dopasowaniem na poziomie $R^2=0,84$. W pozostałych grupach (WR68_2 i PL68), w okresie przed uzyskaniem rekordu życiowego, zastosowany model dopasował trendy o dodatnim współczynniku kierunkowym, a najlepsze przeciętne rezultaty dla protokołu trzeciego kształtowały się na poziomie 8242 punktów (WR68_2) oraz 7710 punktów dla polskich dziesięcioboistów. Dodatkowo, lata startów, które następowały po rekordowych wynikach, opisuje ujemny trend liniowy.

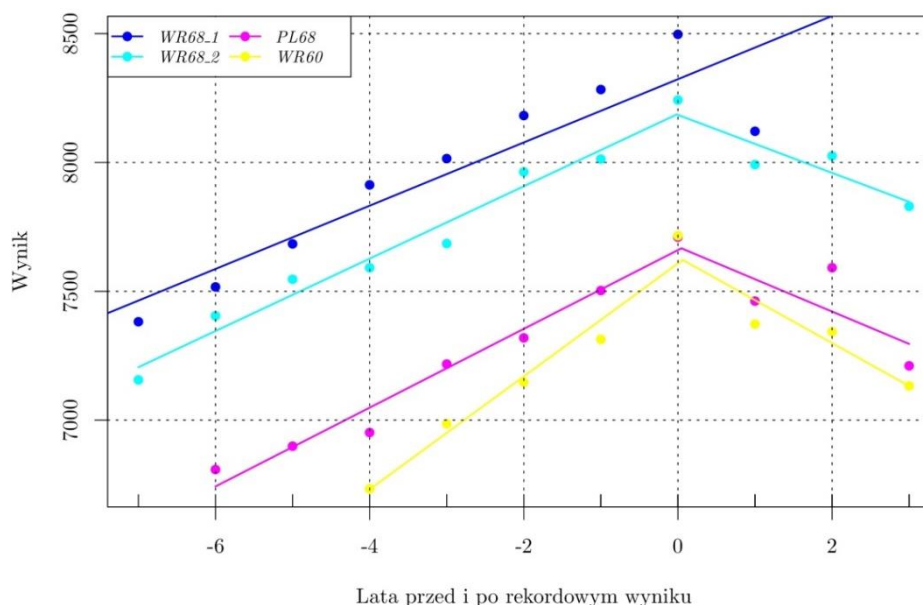


Rycina 6. Analiza regresji segmentowej w ujęciu protokołu pierwszego dla okresu 1960–1984

Na podstawie wyznaczonych modeli regresji oraz średnich poziomów osiągniętych rezultatów końcowych w grupie czołowych zawodników świata startujących w okresie (1960–1967), w pierwszym protokole badawczym (rycyna 6) dla dziesięcioboistów w wieku od 21 do 22 lat zaobserwowano początkowy wzrost wartości uzyskiwanych wyników, a następnie trwający ciągle do 24 roku życia spadek, który odzwierciedla również trend liniowy o ujemnym współczynniku kierunkowym. Od 24 roku życia wyniki zdobywane przez zawodników ulegały stopniowej poprawie, która trwała aż do 28 roku życia, gdzie uzyskiwano najlepsze rezultaty (średni wynik na poziomie 7475 pkt.). Wyniki uzyskiwane przez dziesięcioboistów w tym okresie życia miały wpływ na wyznaczoną w drugim segmencie postać trendu liniowego, który charakteryzował się dodatnim współczynnikiem kierunkowym.



Rycina 7. Analiza regresji segmentowej w ujęciu protokołu drugiego dla okresu 1960–1984



Rycina 8. Analiza regresji segmentowej w ujęciu protokołu trzeciego dla okresu 1960–1984

Analizując średnie poziomy wyników sumarycznych w protokole drugim (rycina 7) do 4 roku treningu, obserwuje się ciągły i znaczny progres. Pomimo, że w piątym i ósmym roku kariery zawodnicy uzyskiwali najlepsze wyniki, wyznaczony na wykresie ujemny segment modelu wskazuje na nieznacznie słabsze wyniki osiągane w kolejnych latach startów. Badając okres przed i po osiągnięciu rekordowych rezultatów (rycina 8), stwierdzono, że okres poprzedzający najwyższe wyniki (7716 punktów) charakteryzował się ciągłym postępem, a okres po nim następujący sukcesywnym spadkiem poziomu wyników. Wzory trendów liniowych opisujących zastosowane modele segmentowe oraz wartości współczynników

dopasowania (R^2) do danych dla poszczególnych grup zawodniczych w badanych okresach rozwoju dziesięcioboju przedstawiono w tabeli 10.

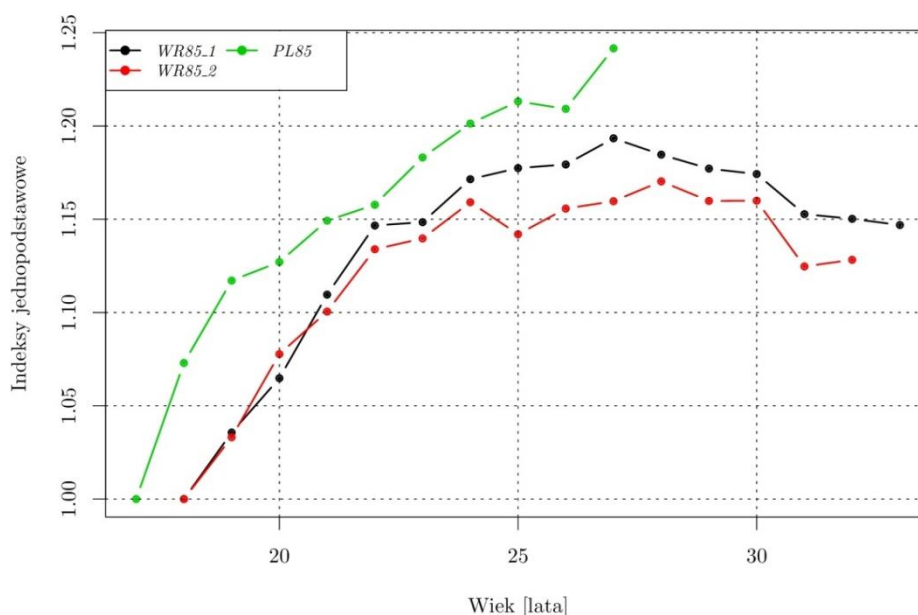
Tabela 10. Modele segmentowe dla badanych okresów

Protokół	Grupa	Segment 1	Segment 2	R^2
PIERWSZY	WR85_1	$y_1 = 211,58x+3462,6$	$y_2 = -36,179x+9488,5$	0,97
	WR85_2	$y_1 = 236,88x+2815,2$	$y_2 = -9,8786x+8395,7$	0,94
	PL85	$y_1 = 454x-1493$	$y_2 = 95x+5146,3$	0,99
	WR68_1	$y_1 = 131,9x+5032,6$	$y_2 = -62,159x+9958,5$	0,98
	WR68_2	$y_1 = 196,52x+3497,1$	$y_2 = 31,511x+7187,2$	0,98
	PL68	$y_1 = 176,91x+3340,7$	$y_2 = -9,2594x+7885,1$	0,99
	WR60	$y_1 = -54,253x+8538,4$	$y_2 = 30,77x+6500,4$	0,40
DRUGI	WR85_1	$y_1 = 276,36x+7005,3$	$y_2 = -21,461x+8666,6$	0,96
	WR85_2	$y_1 = 205,8x+6964,2$	$y_2 = -37,53x+8539,6$	0,85
	PL85	$y_1 = 432,15x+5727,2$	$y_2 = 43,658x+7100,7$	0,98
	WR68_1	$y_1 = 227,79x+7026,7$	$y_2 = -23,535x+8463,6$	0,98
	WR68_2	$y_1 = 253,73x+6805,1$	$y_2 = 21,605x+7864,6$	0,99
	PL68	$y_1 = 305,08x+6100,4$	$y_2 = 25,986x+7373,2$	0,97
	WR60	$y_1 = 229,19x+6407,8$	$y_2 = -6,3453x+7473,2$	0,96
TRZECI	WR85_1	$y_1 = 157,17x+8706,2$	$y_2 = -72,714x+8658,1$	0,98
	WR85_2	$y_1 = 116,65x+8398,1$	$y_2 = -59,741x+8307,4$	0,89
	PL85	$y_1 = 180,23x+7607,8$	$y_2 = -109,02x+7580$	0,93
	WR68_1	$y_1 = 122,72x+8323,04$	-----	0,84
	WR68_2	$y_1 = 140,3x+8187,8$	$y_2 = -112,68x+8185$	0,97
	PL68	$y_1 = 152,85x+7659,9$	$y_2 = -125,57x+7672,6$	0,93
	WR60	$y_1 = 221,49x+7614,7$	$y_2 = -158,88x+7613,9$	0,95

W celu zbadania dynamiki przebiegu mistrzostwa sportowego czołowych dziesięcioboistów z Polski i świata w różnych okresach historii lekkoatletycznego wieloboju męskiego obliczono wartości indeksów o podstawie stałej (jednostawowe) oraz indeksów o podstawie zmiennej (łańcuchowe). Wyniki tej analizy, bazującej na przeciętnych wynikach końcowych wyznaczonych w poszczególnych protokołach (tabela 3–9), zostały przedstawione na rycinach (rycina 9–20).

Na podstawie wykresu przedstawiającego wartości indeksów jednostawowych wśród najlepszych dziesięcioboistów z Polski i świata startujących w latach 1985–2015 w ujęciu protokołu pierwszego (rycina 9), zaobserwowano w ciągu całej kariery stały wzrost średniego poziomu osiąganych rezultatów względem okresu bazowego. W grupie światowej wśród 25 najlepszych zawodników największy wzrost wartości indeksów względem pierwszego uwzględnionego w analizie średniego poziomu wyniku (7209 pkt.) wynosił 19,34% i przypadał na 27 rok życia, gdzie zawodnicy w tym wieku uzyskiwali swoje rekordy życiowe na średnim poziomie 8603 punkty. W drugiej grupie zawodników ze świata zaobserwowano mniejsze przyrosty względem okresu bazowego, a największa wartość indeksu wyznaczona została w 28 roku życia i wynosiła 1,17 (wzrost o 17,03%). Wśród wieloboistów z obu powyższych grup można zaobserwować okres dużego wzrostu wyników,

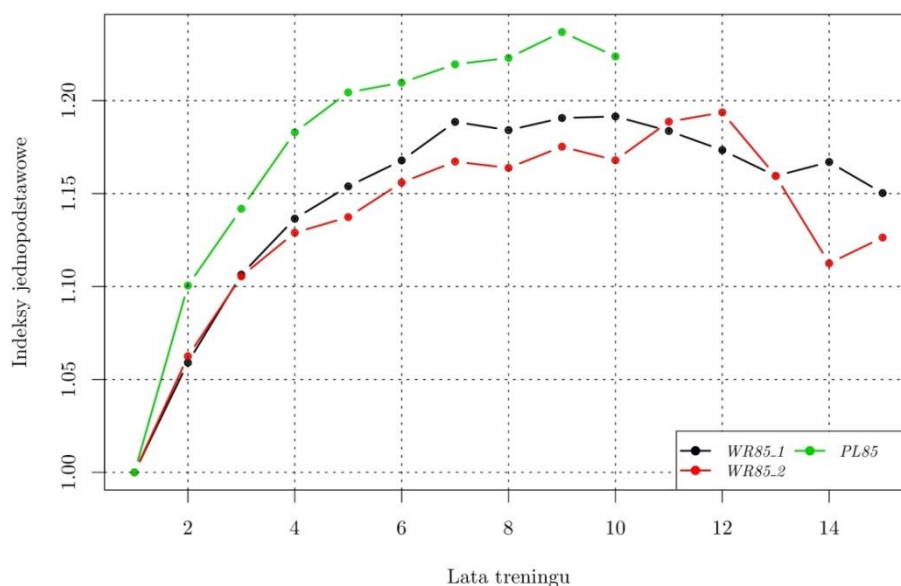
który trwa do 22 roku życia, po którym następuje aż do uzyskania rekordu życiowego, okres stabilizacji. Po uzyskaniu najlepszych wyników w kolejnych latach życia uwidacznia się spadek osiąganych wyników.



Rycina 9. Wartości indeksów jednopodstawowych w grupie dziesięcioboistów z Polski i świata startujących w latach 1985–2015 w ujęciu protokołu pierwszego

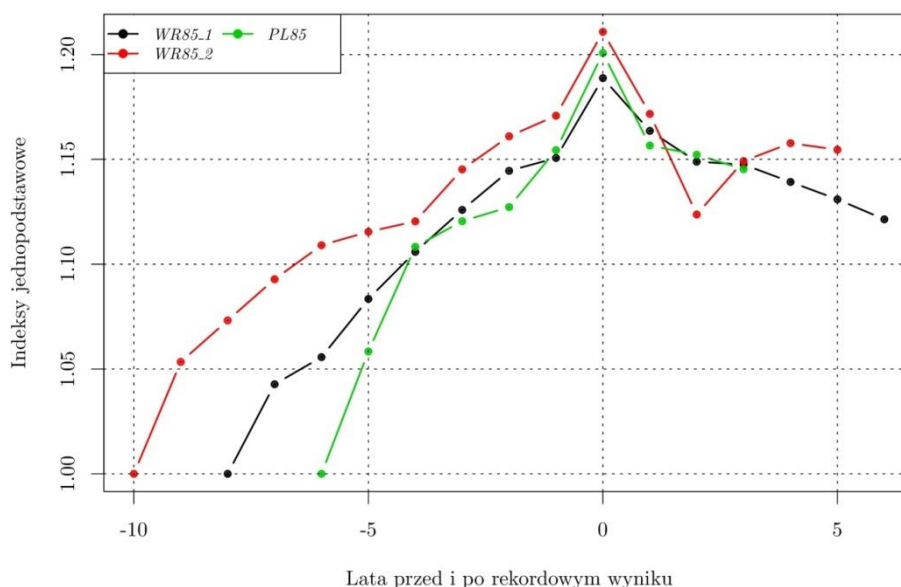
Największą dynamikę zmian poziomów zdobywanych wyników w tym okresie zaobserwowano w grupie polskich zawodników. Dziesięciobości będący w wieku 27 lat charakteryzowali się wzrostem o 24,16% względem okresu bazowego. Warto tu zaznaczyć, że rezultaty uzyskane przez zawodników z Polski w ujęciu ich wieku były na dużo niższym poziomie w stosunku do grupy światowej i wynosiły odpowiednio dla okresu bazowego 6225 pkt., a jako najwyższy średni wynik 7729 pkt.. Dodatkowo, z powodu krótkiej kariery, której koniec przypada na okres uzyskiwania najwyższych wyników, nie obserwuje się w pierwszym protokole spadków wartości indeksów.

Analizując wyniki uzyskane w protokole drugim (rycina 10), zaobserwowano, podobnie jak w poprzednim protokole, że wartości indeksów w całym okresie przebiegu kariery są większe od jedności, co świadczy o stałym wzroście zdobywanych wyników względem okresu bazowego. Największy wzrost dla badanych grup z tego okresu wyznaczono dla grupy polskiej, który wynosił 23,69% i określony został dla zawodników w dziewiątym roku kariery. W grupie 25 najlepszych dziesięcioboistów świata największa wartość indeksu wyznaczona została w dziesiątym roku startów, kształtując się na poziomie 19,15%. Wartość ta poprzedzona była trwającym trzy lata okresem stabilizacji wyników na wysokim poziomie (średnio 8528 pkt.).



Rycina 10. Wartości indeksów jednopodstawowych w grupie dziesięcioboistów z Polski i świata startujących w latach 1985–2015 w ujęciu protokołu drugiego

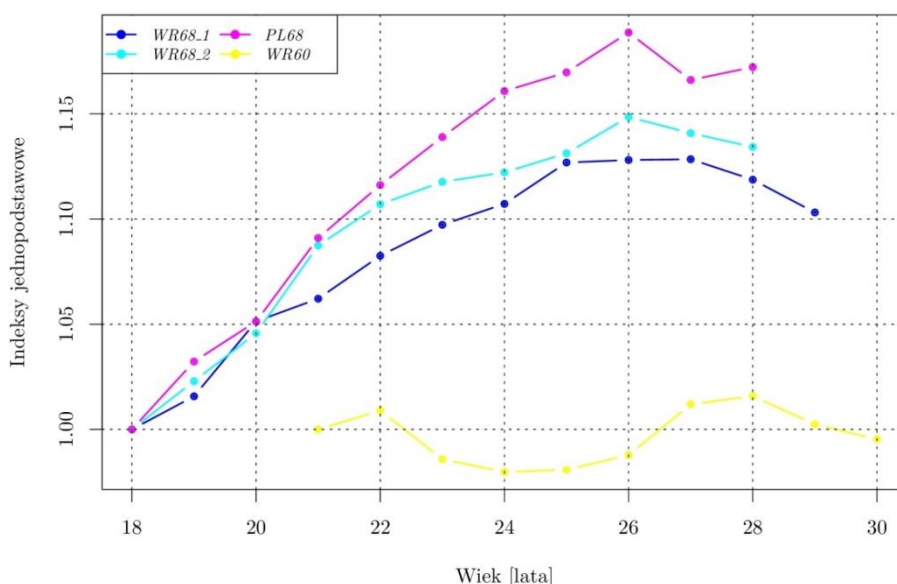
W drugiej grupie zawodników ze świata czas osiągnięcia najlepszych wyników (12 rok kariery ze średnim rezultatem 8351pkt.) charakteryzował się indeksem o wartości równej 19,37% w odniesieniu do przyjętego okresu bazowego (6996 pkt.). We wszystkich grupach po osiągnięciu najwyższego średniego poziomu uzyskiwanych wyników końcowych zaobserwowano spadek wartości indeksów w stosunku do ich najwyższej wartości.



Rycina 11. Wartości indeksów jednopodstawowych w grupie dziesięcioboistów z Polski i świata startujących w latach 1985–2015 w ujęciu protokołu trzeciego

W badaniach dynamiki zmian poziomu uzyskiwanych wyników w całym okresie karier dziesięcioboistów startujących w latach 1985–2015 wzięto pod uwagę lata przed i po

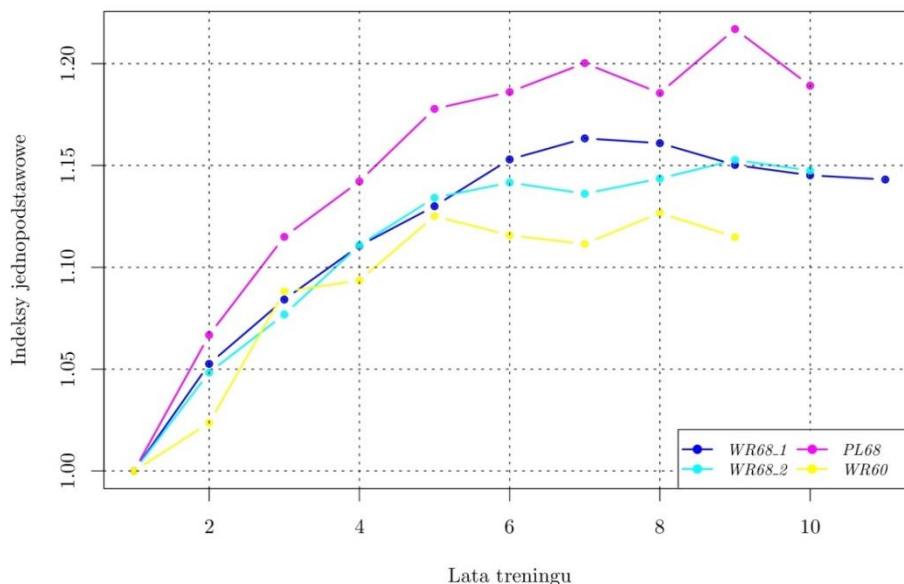
osiągnięciu rekordowego wyniku. Na rycinie 11 we wszystkich grupach w okresie poprzedzającym rekord życiowy zaobserwowano dynamiczne zmiany wartości indeksów o podstawie stałej. Największy postęp w osiąganych wynikach względem okresu bazowego w grupie najlepszych zawodników ze świata był na poziomie 18,88% i dotyczył rekordowego wyniku na średnim poziomie 8735 punktów. W drugiej grupie dziesięcioboistów ze świata wartość procentowa indeksu w chwili najlepszego wyniku (8506 pkt.) wyniosła 21,08% w stosunku do wyniku bazowego przyjętego na poziomie 7025 punktów. Najlepsi zawodnicy świata w pierwszej, jak i drugiej grupie zdobywają swoje rekordowe wyniki odpowiednio po ośmiu i dziesięciu latach. W polskiej grupie zawodników już po sześciu latach, ale na znacznie niższym poziomie w stosunku do dziesięcioboistów ze świata, odnotowuje się rekordy życiowe wynoszące średnio 7652 punktów (progres na poziomie 20,07%). We wszystkich grupach po rekordowych rezultatach widoczny jest okres obniżania się osiąganych wyników.



Rycina 12. Wartości indeksów jednopodstawowych w grupie dziesięcioboistów z Polski i świata startujących w latach 1960–1984 w ujęciu protokołu pierwszego

Analizując wartości indeksów o podstawie stałej (okres 1968–1984, protokół 1), stwierdzono, że rezultaty uzyskiwane przez zawodników z Polski i świata w całej ontogenezie są wyższe od przyjętych wartości dla okresu bazowego (rycina 12). Dochodzenie do najwyższego poziomu zawodniczego w tym okresie, we wszystkich badanych grupach, trwa do 25 roku życia. W grupie 25 najlepszych zawodników świata od 25 roku życia zaobserwowano trzyletni okres stabilizacji, podczas którego uzyskiwali oni wyniki na bardzo wysokim poziomie. Największe wartości indeksów względem okresu bazowego dla dziesięcioboistów z tej grupy wyznaczono dla zawodników w wieku 27 lat. W pozostałych

grupach maksymalne wzrosty indeksów dla wieloboistów zaobserwowano dla wieku 26 lat. Po okresie uzyskiwania wyników na najwyższym poziomie, względem okresu bazowego, we wszystkich grupach uwidocznił się również czas spadku rezultatów.

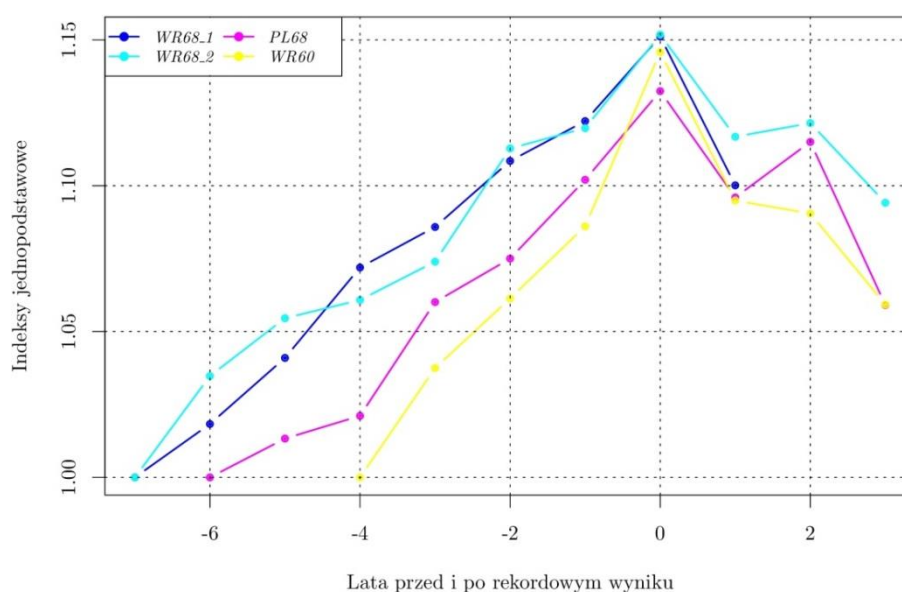


Rycina 13. Wartości indeksów jednopodstawowych w grupie dziesięcioboistów z Polski i świata startujących w latach 1960–1984 w ujęciu protokołu drugiego

Zobrazowane na rycinie 13 wartości indeksów jednopodstawowych rozpatrywanych w ujęciu protokołu drugiego pokazują, że największe wzrosty dynamiki rozwoju wyników charakteryzują grupę polskich dziesięcioboistów, którzy największy przyrost procentowy wynoszący 21,70%, względem pierwszego przyjętego w analizie średniego rezultatu końcowego, uzyskali w dziewiątym roku kariery (analogicznie jak zawodnicy startujący w okresie 1985–2015). W grupie zawodników ze świata dynamika rozwoju wyniku sportowego na początku kariery jest bardzo zbliżona. Dopiero od 4 roku startów rysuje się różnica w osiągniętych przyrostach pomiędzy pierwszą a drugą grupą. Wśród 25 najlepszych zawodników świata, podobnie jak w protokole pierwszym, wartość największa indeksu (16,33%) przypadająca na siódmy rok startów, poprzedzona jest trzyletnim okresem wyników na wysokim poziomie. W drugiej grupie zawodników największy wzrost wartości uzyskiwanych wyników w stosunku do okresu bazowego (7025 pkt.) wyznaczono w dziewiątym roku startów, gdzie zawodnicy uzyskiwali średnio 8098 punktów (wartość przyrostu indeksu na poziomie 15,27%).

Analizując wartości indeksów o podstawie stałej w trzecim protokole badawczym w okresie 1968–1984 (rycina 14), stwierdzono, że we wszystkich trzech badanych grupach do momentu osiągnięcia przez dziesięcioboistów wyników na poziomie rekordu życiowego

widoczny jest ciągły wzrost osiąganych rezultatów. W obu grupach zawodników świata największy i niemal identyczny wzrost procentowy względem okresu bazowego wyznaczono na poziomie około 15,11% a okres dochodzenia do najlepszych rezultatów w obu przypadkach trwał 7 lat. Wśród polskich zawodników największą wartość indeksu obliczono po sześciu latach startów i wyniósł on 13,24%. Po osiągnięciu najlepszych rezultatów przez dziesięcioboistów ze wszystkich grup z badanego okresu w kolejnych latach startów obserwuje się spadek wartości indeksów.



Rycina 14. Wartości indeksów jednopodstawowych w grupie dziesięcioboistów z Polski i świata startujących w latach 1960–1984 w ujęciu protokołu trzeciego

Badając wartości indeksów wyznaczonych dla dziesięcioboistów ze świata startujących w latach 1960–1967 z uwzględnieniem ich wieku, największy wzrost indeksu obliczono dla zawodników w wieku 28 lat, który wynosił zaledwie 1,58%, podczas gdy w okresie od 23 do 26 roku życia na wykresie uwidocznił się również spadek poziomu osiąganych wyników względem okresu bazowego (rycina 12). Analizując natomiast kolejne lata treningu (rycina 13), zaobserwowano, że do piątego roku startów następuje ciągły i dynamiczny progres osiąganych rezultatów (wzrost procentowy o 12,51%). Po tym czasie następuje wyhamowanie wartości indeksów, a nawet ich nieznaczny spadek względem wyników z piątego roku. Największy wzrost dynamiki w stosunku do okresu bazowego wynoszącego 6640 pkt. wyznaczono w ósmym roku startów (12,67%), w którym uzyskiwano wyniki na rekordowym w tej grupie poziomie równym 7481 pkt. Wartości indeksów o podstawie stałej obliczone w protokole trzecim (rycina 14) wskazują na ciągły i dynamiczny wzrost osiąganych wyników w latach poprzedzających najwyższe rezultaty. W momencie rekordu

życiowego wartość indeksu była największa i równa 14,58%, a w kolejnych latach stale malała.

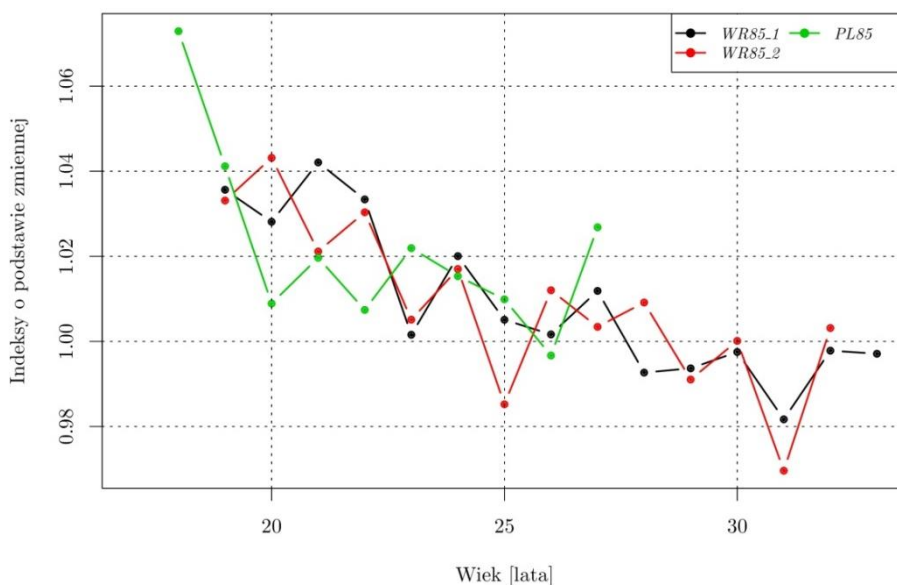
Wyniki analizy dynamiki rozwoju wyników sportowych z wykorzystaniem indeksów łańcuchowych, które wyznaczono w badanych okresach oraz grupach zawodniczych, przedstawiono na rycinach 15–20. Analizując obliczone wartości indeksów o podstawie zmiennej dla dziesięcioboistów startujących w latach 1985–2015, uwzględniających kolejne lata życia (rycina 15), we wszystkich grupach zaobserwowano dużą dynamikę zmian osiągniętych rezultatów. W grupie czołowych zawodników świata najwyższe średnie wyniki końcowe zaobserwowano wśród zawodników, którzy osiągnęli 27 rok życia. Okres poprzedzający wysokie rezultaty końcowe charakteryzował się ciągłym postępowaniem uzyskiwanych wyników, podczas gdy w latach kolejnych następował ich spadek, na co wskazują wyznaczone wartości indeksów (mniejsze od 1). Największy wzrost poziomu osiągniętych wyników (o 4,2%) wyznaczono dla zawodników w wieku 21 lat, a największy spadek (1,9%) w wieku 31 lat.

W drugiej grupie zawodników ze świata do 25 roku życia widoczny był ciągły progres osiągniętych rezultatów, następnie w kolejnym roku życia zaobserwowano pierwszy spadek (1,5%) wartości indeksu w stosunku do średniego wyniku z poprzedniego roku (rycina 15). Od 26 roku życia wśród dziesięcioboistów z tej grupy widoczny był coroczny progres, który zakończony był wynikami na poziomie rekordów życiowych uzyskanych w wieku 28 lat. Wartości indeksów wyznaczone w kolejnych latach potwierdzają okres zdobywania słabszych wyników.

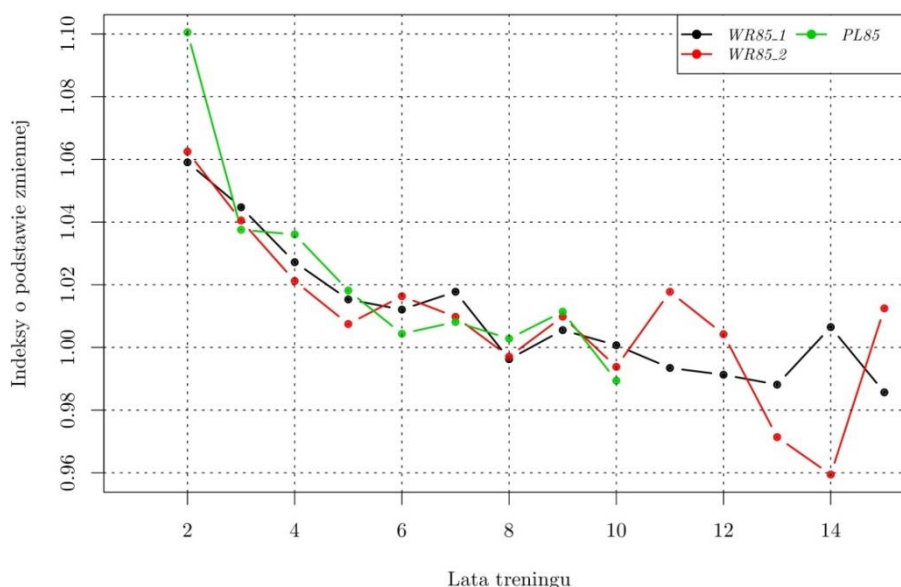
Na podstawie wartości indeksów łańcuchowych obliczonych dla grupy polskich zawodników (rycina 15), w niemal całej karierze zaobserwowano wzrost poziomu uzyskiwanych wyników, a największe wartości indeksów wskazujące na progres wyznaczono dla zawodników w wieku 21 i 22 lat. Jedyne i nieznaczne spadki wartości indeksu zaznaczyły się w roku poprzedzającym wyniki na najwyższym poziomie.

Uwzględniając poziom osiągniętych wyników końcowych w stosunku do poprzedniego roku treningów (rycina 16), największe wartości indeksów łańcuchowych świadczące o największym postępie, wyznaczono dla wszystkich grup w drugim roku treningu. Dla polskiej grupy dziesięcioboistów wzrost ten był największy i wyniósł aż 10%, natomiast dla pozostałych dwóch grup wyznaczony progres wynosił ok. 6%. W polskiej grupie zawodniczej do 9 roku treningu widoczny był ciągły, lecz mało dynamiczny, wzrost zdobywanych wyników. Po roku, w którym Polacy zdobywali rezultaty na rekordowym poziomie, nastąpił spadek wartości indeksu (pogorszenie się wyniku sportowego). Wśród dziesięcioboistów

ze świata do ósmego roku startów widoczny był ciągły, ale mało dynamiczny postęp osiąganych wyników, na co wskazują nieznacznie zmieniające się wartości indeksów. Największe spadki indeksów łańcuchowych we wszystkich grupach wyznaczono w kolejnych latach treningu po osiągnięciu wyników na najwyższym poziomie.



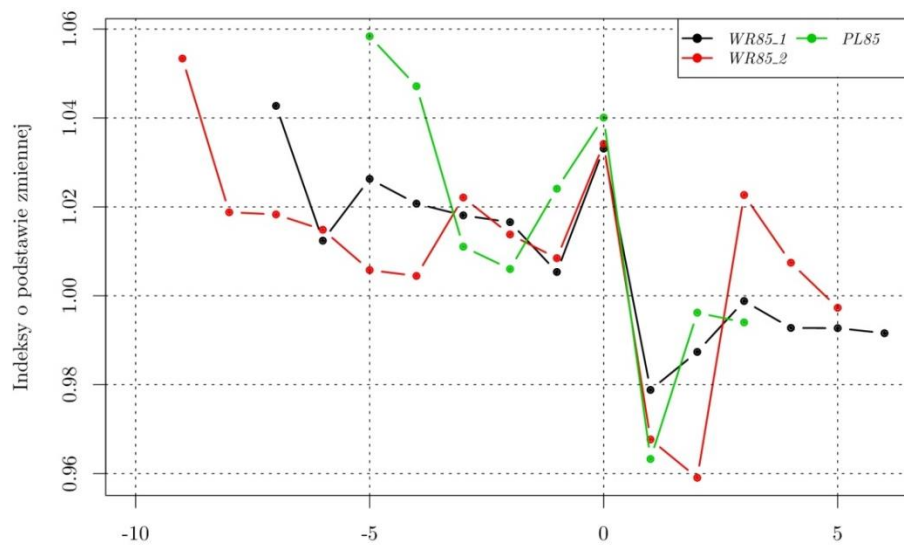
Rycina 15. Wartości indeksów łańcuchowych w grupie dziesięcioboistów z Polski i świata startujących w latach 1985–2015 w ujęciu protokołu pierwszego



Rycina 16. Wartości indeksów łańcuchowych w grupie dziesięcioboistów z Polski i świata startujących w latach 1985–2015 w ujęciu protokołu drugiego

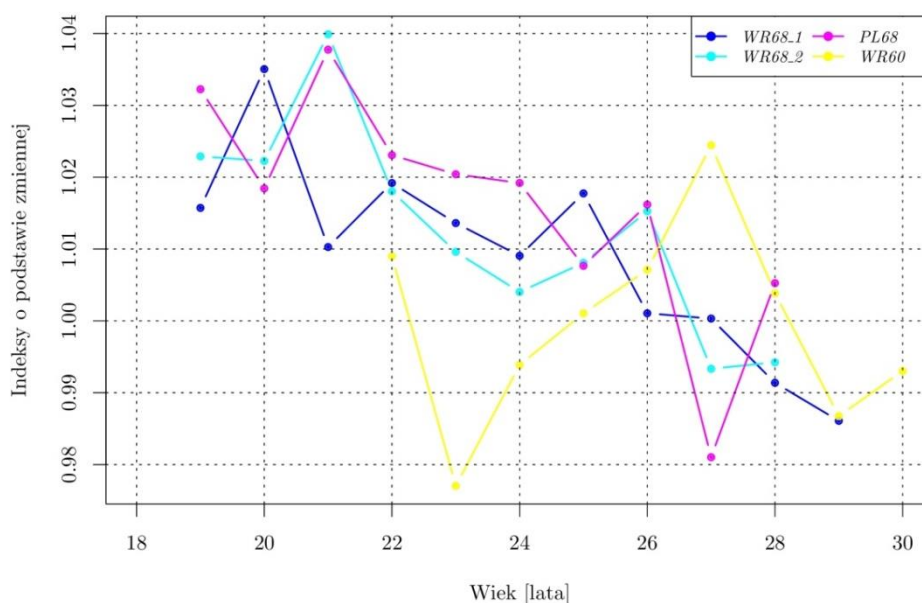
Analizując obliczone wartości indeksów łańcuchowych w ujęciu lat przed i po uzyskaniu najwyższych wyników (rycina 17) dla wszystkich rozpatrywanych grup z badanego okresu w latach poprzedzających wyniki na rekordowym poziomie,

zaobserwowano ciągły wzrost uzyskiwanych rezultatów w stosunku do poprzedniego roku startu. Największe wartości indeksów dla badanych grup wyznaczono w pierwszych latach okresu poprzedzającego rekordy oraz w roku osiągnięcia najwyższych sum końcowych. Dla najlepszych zawodników z Polski i świata największe spadki (odpowiednio 3,7% oraz 2,2%) zaobserwowano w pierwszym roku po uzyskaniu wyników na najwyższym poziomie. W drugiej grupie dziesięcioboistów ze świata najmniejsza wartość indeksu wyznaczona była dwa lata po rekordowych rezultatach i określała spadek na poziomie ok. 4,1% w stosunku do roku poprzedniego.



Lata przed i po rekordowym wyniku

Rycina 17. Wartości indeksów łańcuchowych w grupie dziesięcioboistów z Polski i świata startujących w latach 1985–2015 w ujęciu protokołu trzeciego



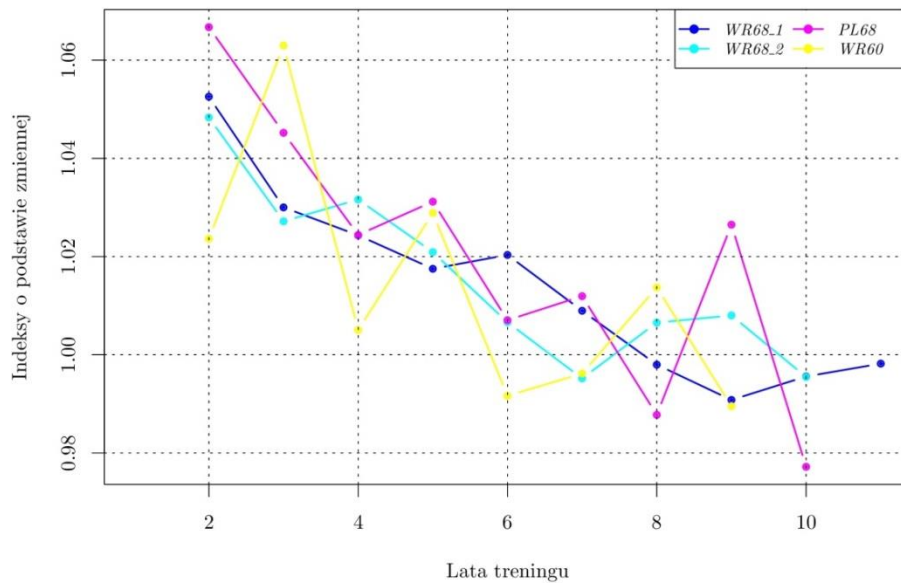
Rycina 18. Wartości indeksów łańcuchowych w grupie dziesięcioboistów z Polski i świata startujących w latach 1960–1984 w ujęciu protokołu pierwszego

Dokonując analizy dynamiki rozwoju wyniku końcowego wśród dziesięcioboistów startujących w okresie od 1968 do 1984 roku, na podstawie ryciny 18 obrazującej wyznaczone wartości indeksów łańcuchowych w ujęciu protokołu pierwszego, we wszystkich trzech grupach zaobserwowano ciągły oraz dynamiczny postęp osiąganych rezultatów, który trwa do 26 roku życia. W kolejnych latach życia zawodników, po uzyskaniu rekordowych rezultatów, odnotowano spadki wartości indeksów poniżej jedności, świadczące o obniżaniu się średniego poziomu uzyskiwanych wyników końcowych.

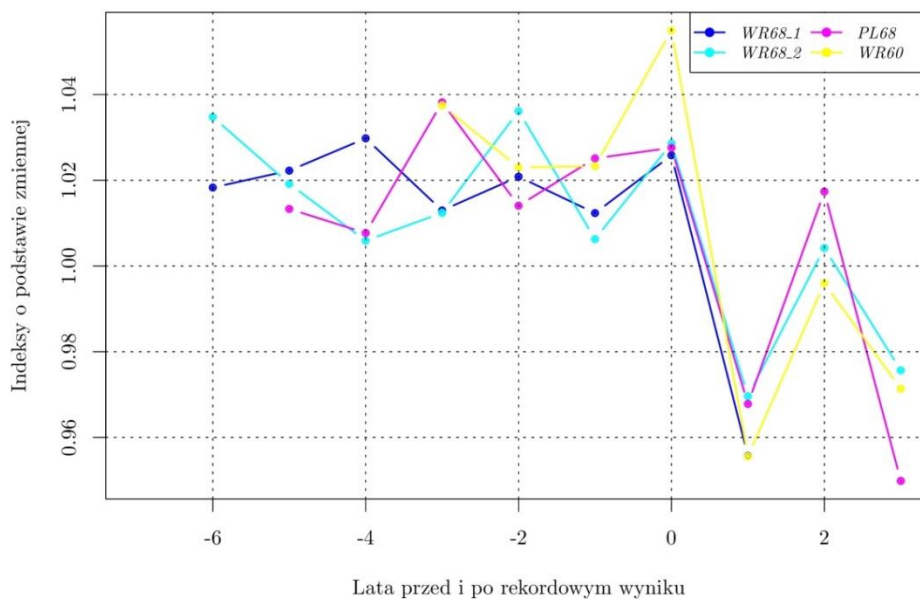
Rozpatrując lata treningu zawodniczego (rycina 19), podobnie jak w poprzednim badanym okresie, największy wzrost średnich poziomów wyników w stosunku do roku poprzedniego zaobserwowano w drugim roku startów dziesięcioboistów z wszystkich grup, a następne lata treningu wskazywały na ciągły i dynamiczny postęp karier. W grupie zawodników z Polski rok uzyskiwania najlepszych wyników charakteryzuje się stosunkowo dużym wzrostem względem roku poprzedniego wynoszącym 2,6%. Najmniejsze wartości indeksów łańcuchowych wyznaczono w kolejnych latach treningu po osiągnięciu najlepszych rezultatów. Analizując rozwój finalnego rezultatu dziesięcioboistów startujących w okresie 1968–1984 z uwzględnieniem lat przed i po rekordowych wynikach (rycina 20), w okresie poprzedzającym najlepsze rezultaty we wszystkich grupach zawodniczych, wyznaczone wartości indeksów łańcuchowych były większe od 1, co świadczy o ciągłym postępie (wzroście) uzyskiwanych wyników w stosunku do poprzedniego sezonu. Dodatkowo, w kolejnym roku po okresie najlepszych startów w grupie zawodników z Polski i świata, określono największe spadki wartości indeksów.

Wśród dziesięcioboistów startujących w okresie 1960–1967 w kolejnych latach życia (rycina 18) obserwuje się dużą dynamikę rozwoju kariery sportowej. Na etapie młodzieżowca od 21 roku życia uwidacznia się nieznaczny wzrost wartości indeksu, wskazując na lepszy w stosunku do roku poprzedniego średni poziom wyniku, po którym zauważalny był ponad 2% spadek uzyskanych wyników trwający aż do 24 roku życia. W kolejnych latach życia dziesięcioboistów widoczny był stopniowy wzrost wartości indeksów świadczący o coraz wyższych wynikach uzyskiwanych finalnie. Największy postęp widoczny był wśród zawodników w wieku 27 lat (2,4%), którzy rekordowe wyniki uzyskiwali w kolejnym roku życia. Analizując lata treningu dziesięcioboistów oraz otrzymane wartości indeksów łańcuchowych (rycina 19), zaobserwowano ciągły postęp uzyskiwanych wyników w okresie od 1 do 5 roku treningu, podczas którego największą wartość wskaźnika wyznaczono w trzecim roku startów (postęp równy 6,3%). W kolejnych dwóch latach treningów

uwidocznił się spadek wartości indeksów ($i_{t/t-1} < 1$), po których dziesięciobości z badanej grupy uzyskiwali najlepsze wyniki.



Rycina 19. Wartości indeksów łańcuchowych w grupie dziesięcioboistów z Polski i świata startujących w latach 1960–1984 w ujęciu protokołu drugiego



Rycina 20. Wartości indeksów łańcuchowych w grupie dziesięcioboistów z Polski i świata startujących w latach 1960–1984 w ujęciu protokołu trzeciego

Na podstawie ryciny 20, obrazującej wartości indeksów łańcuchowych w ujęciu lat przed i po wynikach na rekordowym poziomie, największe wartości indeksów wskazujących na rozwój wyników w stosunku do rezultatu z roku poprzedniego wyznaczono na 3 lata przed (3,7% wzrost) oraz w roku uzyskiwania rekordów życiowych (5,4% wzrost) przez zawodników z badanej grupy. W całym okresie poprzedzającym rezultaty na najwyższym

poziomie zaobserwowano stały postęp osiąganych wyników, natomiast w pierwszym roku po uzyskaniu rekordowych wyników odnotowano największy spadek wartości indeksu wskazując na 4,4% obniżenie się średniego rezultatu.

3.2. Zmiany poziomu wyników składowych konkurencji w trzech okresach rozwoju

W celu scharakteryzowania wyników w poszczególnych konkurencjach wchodzących w skład dziesięcioboju dokonano analizy średniej oraz odchylenia standardowego dla wartości metrycznych (tabela 11) oraz punktowych (tabela 13) osiągniętych przez zawodników z Polski i świata w uwzględnionych okresach historii wieloboju męskiego. Ponadto dla powyższych charakterystyk określających średnie poziomy rezultatów cząstkowych (absolutnych i punktowych) w poszczególnych grupach i okresach, przeprowadzono test ANOVA, w którym zastosowana analiza wariancji wykazała, że dla wszystkich dziesięciu konkurencji wyrażonych zarówno w jednostkach metrycznych, jak i punktowych, istnieją istotne statystycznie różnice pomiędzy poziomami osiąganych wyników w badanych grupach dziesięcioboistów oraz okresach.

Tabela 11. Charakterystyka liczbowa wartości metrycznych dla zebranego materiału badawczego wśród najlepszych zawodników z Polski i świata

	ŚWIAT			POLSKA		Analiza ANOVA
	1985-2015 (n = 282)	1968-1984 (n = 213)	1960-1967 (n = 143)	1985-2015 (n = 194)	1968-1984 (n = 210)	
ZMIENNA	$\bar{x} \pm sd$	$\bar{x} \pm sd$	$\bar{x} \pm sd$	$\bar{x} \pm sd$	$\bar{x} \pm sd$	p
100 m [s]	10,86±0,30	11,03±0,27	11,09±0,29	11,36±0,29	11,24±0,29	0,0000***
110 m [s]	14,42±0,61	14,88±0,53	15,37±0,64	15,41±0,62	15,60±0,81	0,0000***
1500 m [s]	280,2±11,8	272,3±12,2	285,2±18,1	287,9±14,1	280,4±16,6	0,0000***
400 m [s]	49,00±1,40	49,57±1,34	51,11±1,42	51,12±1,70	50,89±1,62	0,0000***
oszczep [m]	60,05±6,93	60,70±6,37	58,46±5,36	51,59±6,58	53,54±6,68	0,0000***
dysk [m]	44,63±4,57	43,42±3,80	43,03±3,50	38,91±4,44	39,21±4,38	0,0000***
kula [m]	14,57±1,37	14,29±1,09	14,11±1,02	13,10±1,22	12,71±1,20	0,0000***
tyczka [m]	4,75±0,42	4,43±0,39	3,91±0,30	4,23±0,50	4,07±0,52	0,0000***
wzwyż [m]	2,02±0,07	2,00±0,08	1,80±0,09	1,95±0,10	1,92±0,09	0,0000***
w dal [m]	7,47±0,35	7,28±0,32	6,86±0,32	6,91±0,38	6,93±0,34	0,0000***

*istotność statystyczna na poziomie: * p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001*

Na podstawie wyników zgromadzonych w tabeli 11 zaobserwowano, że grupa najlepszych zawodników z Polski osiągała gorsze wyniki średnie w każdej konkurencji składowej w odniesieniu do grupy najlepszych zawodników świata startujących w tych samych okresach czasu. Dokonując analizy poszczególnych grup konkurencji, stwierdzono, że w konkurencjach biegowych rozgrywanych na dystansach 100 m, 110 m ppł. oraz 400 m najszybciej biegali dziesięciobości z grupy świat, startujący w latach 1985–2015, a poziomy osiąganych wyników w tym okresie istotnie różnią się od czasów uzyskanych w niemalże

wszystkich pozostałych grupach oprócz okresu 1968–1984, gdzie dla biegu na 400 m nie wykazano istotnych różnic (tabela 12). Wyjątek w tej grupie stanowią średnie czasy uzyskane w konkurencji biegu na dystansie 1500 m, gdzie najlepiej radzili sobie zawodnicy z okresu 1968–1984.

Tabela 12. Istotność różnic między wynikami metrycznymi uzyskanymi w konkurencjach składowych w poszczególnych okresach historii lekkiej atletyki

Zmienna	OKRES	WR85	WR68	WR60	PL85	PL68
100 m	WR85		0,0450*	0,0325*	0,0000***	0,0000***
	WR68	0,0450*		0,7078	0,0000***	0,0000***
	WR60	0,0325*	0,7078		0,0000***	0,0004***
	PL85	0,0000***	0,0000***	0,0000***		0,0005***
	PL68	0,0000***	0,0000***	0,0004***	0,0005***	
w dal	WR85		0,0000***	0,0000***	0,0000***	0,0000***
	WR68	0,0000***		0,0000***	0,0000***	0,0000***
	WR60	0,0000***	0,0000***		0,7511	0,4551
	PL85	0,0000***	0,0000***	0,7511		0,9829
	PL68	0,0000***	0,0000***	0,4551	0,9829	
kula	WR85		0,0001***	0,0097**	0,0000***	0,0000***
	WR68	0,0001***		0,9711	0,0000***	0,0000***
	WR60	0,0097**	0,9711		0,0000***	0,0000***
	PL85	0,0000***	0,0000***	0,0000***		0,0184*
	PL68	0,0000***	0,0000***	0,0000***	0,0184*	
wzwyż	WR85		0,0000***	0,0000***	0,0000***	0,0000***
	WR68	0,0000***		0,0000***	0,0374*	0,0000***
	WR60	0,0000***	0,0000***		0,0000***	0,0000***
	PL85	0,0000***	0,0374*	0,0000***		0,0405*
	PL68	0,0000***	0,0000***	0,0000***	0,0405*	
400 m	WR85		0,1167	0,0000***	0,0000***	0,0000***
	WR68	0,1167		0,0000***	0,0000***	0,0000***
	WR60	0,0000***	0,0000***		1,0000	0,7358
	PL85	0,0000***	0,0000***	1,0000		0,5519
	PL68	0,0000***	0,0000***	0,7358	0,5519	
110 m	WR85		0,0000***	0,0000***	0,0000***	0,0000***
	WR68	0,0000***		0,0000***	0,0000***	0,0000***
	WR60	0,0000***	0,0000***		0,9902	0,0194*
	PL85	0,0000***	0,0000***	0,9902		0,0222*
	PL68	0,0000***	0,0000***	0,0194*	0,0222*	
dysk	WR85		0,0109*	0,0708	0,0000***	0,0000***
	WR68	0,0109*		0,9515	0,0000***	0,0000***
	WR60	0,0708	0,9515		0,0000***	0,0000***
	PL85	0,0000***	0,0000***	0,0000***		0,9556
	PL68	0,0000***	0,0000***	0,0000***	0,9556	
tyczka	WR85		0,0000***	0,0000***	0,0000***	0,0000***
	WR68	0,0000***		0,0000***	0,0022**	0,0000***
	WR60	0,0000***	0,0000***		0,0000***	0,0096**
	PL85	0,0000***	0,0022**	0,0000***		0,0009***
	PL68	0,0000***	0,0000***	0,0096**	0,0009***	
oszczep	WR85		0,8095	0,5700	0,0000***	0,0000***
	WR68	0,8095		0,2097	0,0000***	0,0000***
	WR60	0,5700	0,2097		0,0000***	0,0000***
	PL85	0,0000***	0,0000***	0,0000***		0,0351*
	PL68	0,0000***	0,0000***	0,0000***	0,0351*	
1500 m	WR85		0,0001***	0,0064**	0,0000***	0,9396
	WR68	0,0001***		0,0000***	0,0000***	0,0006***
	WR60	0,0064**	0,0000***		0,5085	0,0470*
	PL85	0,0000***	0,0000***	0,5085		0,0000***
	PL68	0,9396	0,0006***	0,0470*	0,0000***	

istotność statystyczna na poziomie: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

W grupie polskiej zaobserwowano, że zawodnicy startujący w latach 1968–1984 charakteryzowali się lepszym przygotowaniem biegowym wykorzystywanym głównie na dystansach 100, 400 i 1500 m, niż zawodnicy startujący współcześnie. Natomiast w biegu na dystansie 110 m przez płotki lepszymi czasami charakteryzowali się zawodnicy z okresu 1985–2015. Dodatkowo, dla obu grup polskich zawodników startujących w okresach 1985–2015 oraz 1968–1984, nieistotne statystycznie okazały się różnice pomiędzy wynikami uzyskiwanymi na dystansie 400 m (tabela 12). Rozpatrując natomiast wyniki konkurencji rzutowych uzyskiwanych przez zawodników ze świata w całym badanym okresie (1960–2015), w dwóch składowych, tj. rzucie dyskiem oraz pchnięciu kulą, zaobserwowano ciągły wzrost uzyskiwanych odległości, a w przypadku rzutu oszczepem najlepsze wyniki zdobywali zawodnicy startujący w latach 1968–1984. Badając różnice pomiędzy poziomami rezultatów w konkurencjach rzutowych osiągniętych współcześnie (1985–2015), dla pchnięcia kulą stwierdzono (tabela 12) istotne statystycznie różnice w stosunku do wyników uzyskanych we wszystkich pozostałych grupach i okresach. Z kolei dla rzutu dyskiem i oszczepem w grupach świat nieistotne okazały się różnice pomiędzy okresem 1985–2015 i 1960–1967, a dla oszczepu dodatkowo pomiędzy okresami 1967–1984 i wcześniejszym. Badając średnie wyniki w rzutach uzyskiwane w grupie polskiej, stwierdzono, że najdłuższe odległości uzyskiwano w okresie 1968–1984 w rzucie oszczepem (53,54 m) oraz rzucie dyskiem (39,21 m). Natomiast w trzeciej konkurencji rzutowej, tj. pchnięciu kulą, lepszymi wynikami charakteryzowali się dziesięciobości startujący w latach 1985–2015, gdzie średnia odległość rzutu wynosiła 13,10 m. Poziomy wyników uzyskiwanych przez najlepszych polskich zawodników w trzech rzutach różnią się istotnie statystycznie pomiędzy rezultatami grupy świat we wszystkich analizowanych okresach. Brak istotnych różnic w osiągniętych wynikach stwierdzono jedynie wśród Polaków startujących w latach 1985–2015 i 1968–1984 w rzucie dyskiem (tabela 12).

W konkurencjach o charakterze skocznościowym najlepsze wyniki w każdej z trzech konkurencji skoków zdobywali czołowi zawodnicy grupy światowej startujący w latach 1985–2015. Wyniki te kształtowały się średnio na poziomie 4,75 m w skoku o tyczce, 2,02 m w skoku wzwyż oraz 7,47 m w skoku w dal. W grupie dziesięcioboistów z Polski najlepsze średnie wyniki zaobserwowano w okresie 1985–2015, gdzie średnia odległość dla skoku o tyczce wynosiła 4,23 m, dla skoku wzwyż 1,95 m oraz 6,91 m w skoku w dal. Analizując lata 1967–1984, odnotowano niższe wartości średnie zdobywanych wyników, z wyjątkiem skoku w dal, gdzie średnia odległość kształtowała się na nieznacznie wyższym poziomie (6,93 m) w stosunku do wyników uzyskiwanych w tej konkurencji w okresie 1985–2015.

Dodatkowo, na podstawie zastosowanej analizy ANOVA (tabela 12), stwierdzono, że dla konkurencji skoków o tyczce oraz wzwyż wyniki osiągnięte w obu grupach dziesięcioboju (Polska i świat) we wszystkich badanych okresach różniły się istotnie pomiędzy sobą, natomiast dla skoku w dal nieistotnie statystycznie okazały się różnice w rezultatach wywalczonych przez Polaków (oba okresy) oraz grupę zawodników świata z okresu 1960–1967.

Charakterystykę wyników punktowych, odzwierciedlających uzyskane i przeliczone według tabel wieloboju wartości metryczne zdobyte przez zawodników z badanych grup i okresów w poszczególnych konkurencjach składowych dziesięcioboju przedstawia tabela 13. Analizując otrzymane średnie rezultatów cząstkowych w dziesięcioboju w grupie zawodników ze świata startujących w latach 1985–2015, stwierdzono, że najwięcej punktów zdobywano w konkurencjach skoku w dal (średnio 928 pkt.) oraz biegu przez płotki (średnio 921 pkt.). Najmniejszy udział w końcowym wyniku mają rezultaty osiągnięte w konkurencji biegu na dystansie 1500 m, gdzie średnia ilość zdobytych punktów na tym wymagającym dystansie wynosiła 681 pkt. W grupie polskich dziesięcioboistów najwyższe wyniki punktowe uzyskiwano, podobnie jak w powyższej grupie, tj. w konkurencji biegu przez płotki, gdzie średnia wynosiła 803 punkty oraz w skoku w dal, gdzie rezultat był na średnim poziomie równym 794 pkt. Najmniejszy udział w wyniku sumarycznym miały konkurencje techniczne o charakterze szybkościowo-siłowym, tzn. rzut oszczepem oraz rzut dyskiem, gdzie zawodnicy zdobywali odpowiednio 613 i 643 punkty. Dodatkowo, przeprowadzona analiza wariancji (ANOVA) wykazała istotne statystycznie różnice w poziomach wartości punktowych wszystkich konkurencji składowych dla całości badanych grup dziesięcioboistów z Polski i świata z okresu 1985–2015 (tabela 13).

Tabela 13. Charakterystyka liczbowa wartości punktowych dla zebranego materiału badawczego w latach 1985–2015

		ŚWIAT (n = 282)	POLSKA (n = 194)	Analiza ANOVA
ZMIENNA		$\bar{x} \pm sd$	$\bar{x} \pm sd$	P
100 m	[s]	890±70	783±62	0,0000***
110 m	[s]	921±74	803±69	0,0000***
1500 m	[s]	681±72	634±84	0,0000***
400 m	[s]	862±66	765±75	0,0000***
oszczep	[m]	739±104	613±97	0,0000***
dysk	[m]	760±94	643±90	0,0000***
kula	[m]	763±84	674±74	0,0000***
tyczka	[m]	838±123	687±138	0,0000***
wzwyż	[m]	824±67	759±85	0,0000***
w dal	[m]	928±85	794±88	0,0000***

*istotność statystyczna na poziomie: * p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001*

3.3. Zmiany poziomu wyników w składowych konkurencjach dziesięcioboju w zależności od poziomu zaawansowania

W analizie karier zawodniczych uwzględniono także przyjęte cztery etapy rozwoju kariery. Podstawowe statystyki opisowe zawierające średnie wartości metryczne oraz punktowe uzyskane przez najlepszych dziesięcioboistów ze świata w latach 1985–2015 w konkurencjach składowych prezentują tabele 14–15. Na podstawie otrzymanych wyników zaobserwowano, że w trzech konkurencjach biegowych (dystans 100 m, 110 m ppł. oraz 400 m) do 30 roku życia widoczny jest ciągły postęp uzyskiwanych wyników, a najlepsze rezultaty w biegach dziesięciobości uzyskują na etapie mistrzostwa sportowego, czyli w wieku od 24 do 30 roku życia. Dodatkowo, stwierdzono również, że największy udział punktowy w końcowym wyniku miały rezultaty osiągane w konkurencji biegu przez płotki, gdzie średnio zawodnicy zdobywali 952 pkt. (kończąc bieg z czasem, średnio 14,18 s), a najmniejszy udział punktowy miała konkurencja rozgrywana jako ostatnia w dziesięcioboju, tj. bieg na dystansie 1500 m, gdzie najlepsze czasy zaobserwowano na etapie młodzieżowca (średni czas na poziomie 4 min. 36,69 s oraz 703 pkt.)

Analizując wyniki uzyskiwane przez dziesięcioboistów w rzutach lekkoatletycznych, największy udział punktowy zaobserwowano w konkurencji pchnięcia kulą, gdzie przez cały okres kariery widoczny był ciągły progres, a rekordowe rezultaty zawodników miały miejsce po 31 roku życia. Najlepsze wyniki na ostatnim etapie kariery w tej konkurencji kształtowały się na średnim poziomie 825 punktów (15,57 m). W pozostałych dwóch konkurencjach rzutowych najlepsze wyniki uzyskiwano na etapie mistrzostwa sportowego, gdzie najlepsi dziesięciobości świata rzucali na odległość średnio 46,78 m w dysku oraz 62,43 m w oszczepie, zdobywając odpowiednio 804 oraz 775 punktów.

Badając podstawowe miary statystyczne dotyczące osiągniętych rezultatów w trzech konkurencjach skocznościowych, w grupie najlepszych dziesięcioboistów ze świata startujących w latach 1985–2015, stwierdzono, że wśród zawodników z badanej grupy następuje ciągły wzrost średniej wyników zdobywanych w skoku w dal, skoku wzwyż oraz skoku o tyczce, który trwa aż do 30 roku życia. Po etapie mistrzostwa w którym średnie wyniki są najlepsze, następuje okres pogorszenia się osiąganych rezultatów.

W kolejnej grupie zawodników ze świata (26–50) startujących w okresie 1985–2015 zaobserwowano, że najlepsze średnie wyniki czasowe we wszystkich czterech konkurencjach biegowych, zdobywano w wieku od 24 do 30 lat, a poprzedzające go okresy rozwoju kariery charakteryzowały się ciągłym postępowaniem osiąganych wyników. Największy średni udział punktowy wyznaczono dla konkurencji biegu przez płotki na dystansie 110 m, gdzie

zawodnicy uzyskali ok. 14,53 s, zdobywając średnio 908 punktów. Najmniejszy udział w wyniku końcowym zaobserwowano, podobnie jak w grupie 25 najlepszych zawodników, w konkurencji biegu na dystansie 1500 m, gdzie średnie rezultaty kształtowały się na poziomie 4 min. 35,87 s oraz 708 punktów.

Tabela 14. Charakterystyka wartości metrycznych poszczególnych konkurencji składowych dziesięcioboju z uwzględnieniem przyjętych etapów rozwoju sportowego w grupie 50 zawodników z grupy światowej startujących w latach 1985–2015

ETAP	100 m	110 m	400 m	1500 m	oszczep	dysk	kula	tyczka	wzwyż	w dal	
	$\bar{x} \pm sd$ [s]	$\bar{x} \pm sd$ [s]	$\bar{x} \pm sd$ [s]	$\bar{x} \pm sd$ [s]	$\bar{x} \pm sd$ [m]	$\bar{x} \pm sd$ [m]	$\bar{x} \pm sd$ [m]	$\bar{x} \pm sd$ [m]	$\bar{x} \pm sd$ [m]	$\bar{x} \pm sd$ [m]	
ANOVA [p=]	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0004 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0002 ***	
1-25	I (n=33)	11,22± 0,32	15,17± 1,01	50,61± 1,40	282,93± 9,50	51,96± 6,73	37,98± 4,24	12,61± 1,19	4,15± 0,56	1,98± 0,08	7,04± 0,32
	II (n=81)	10,84± 0,25	14,52± 0,56	48,99± 1,40	276,69± 10,38	58,80± 6,08	43,04± 3,52	13,85± 1,02	4,64± 0,38	2,02± 0,07	7,47± 0,32
	III (n=131)	10,75± 0,26	14,18± 0,37	48,50± 1,11	279,98± 11,94	62,43± 5,60	46,78± 3,54	15,22± 0,91	4,93± 0,24	2,04± 0,07	7,58± 0,29
	IV (n=37)	11,02± 0,21	14,43± 0,30	49,34± 1,16	286,22± 13,10	61,57± 7,24	46,43± 2,74	15,57± 0,86	4,92± 0,26	2,01± 0,06	7,43± 0,30
	ANOVA [p=]	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0008 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0002 ***
26-50	I (n=32)	11,42± 0,38	15,53± 0,75	51,81± 1,81	286,84± 14,11	54,08± 7,53	39,89± 6,16	13,43± 1,81	4,16± 0,35	1,95± 0,10	6,78± 0,25
	II (n=82)	11,11± 0,29	14,86± 0,47	49,88± 1,10	278,14± 13,10	58,72± 5,59	43,32± 4,74	14,36± 1,36	4,58± 0,31	2,01± 0,11	7,18± 0,31
	III (n=134)	11,04± 0,22	14,53± 0,38	49,51± 1,15	275,87± 11,70	60,55± 5,25	45,27± 2,92	14,94± 0,94	4,83± 0,25	2,02± 0,08	7,30± 0,27
	IV (n=32)	11,16± 0,33	14,82± 0,67	50,06± 1,46	281,71± 16,02	60,17± 4,73	44,60± 2,96	14,86± 0,99	4,84± 0,32	1,97± 0,05	7,21± 0,33
	ANOVA [p=]	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0008 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0002 ***

istotność statystyczna na poziomie: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Dokonując analizy średnich wyników metrycznych oraz punktowych, które opisują konkurencje rzutów w drugiej grupie zawodników ze świata startujących w latach 1985–2015, zauważono, że we wszystkich trzech konkurencjach rzutów od początku kariery następował ciągły progres uzyskiwanych rezultatów, który trwał aż do 30 roku życia. W trzecim etapie ontogenezy zawodniczej osiągnano najlepsze średnie wyniki metryczne oraz punktowe. W konkurencji rzutu oszczepem zawodnicy uzyskiwali odległości na poziomie 60,55 m oraz 746 punktów, w rzucie dyskiem 45,27 m oraz 773 punkty, a w pchnięciu kulą 14,94 m, a po przeliczeniu na punkty stanowiło 786 punktów i tym samym miało największy udział punktowy w wyniku końcowym wśród konkurencji rzutowych.

Na podstawie średnich rezultatów metrycznych oraz punktowych uzyskanych przez dziesięcioboistów w skokach na różnym poziomie rozwoju kariery obserwuje się ciągły postęp uzyskiwanych średnich rezultatów, który trwa do 30 roku życia. Najlepsze wyniki metryczne przeliczone według tabel wieloboju uzyskiwali zawodnicy w wieku od 24 do 30 roku życia, które kształtowały się poziomie 4,83 m dla skoku o tyczce (tj. 860 pkt) oraz

2,02 m dla skoku wzwyż (820 pkt.). Najwięcej punktów na etapie mistrzostwa wśród trzech konkurencji skoków zdobywali zawodnicy w skoku w dal, zdobywając średnio 887 punktów.

Tabela 15. Charakterystyka wartości punktowych poszczególnych konkurencji składowych dziesięcioboju z uwzględnieniem przyjętych etapów rozwoju sportowego w grupie 50 zawodników z grupy światowej startujących w latach 1985–2015

ETAP	100 m	110 m	400 m	1500 m	oszczep	dysk	kula	tyczka	wzwyż	w dal	
	$\bar{x} \pm sd$ [pkt.]	$\bar{x} \pm sd$ [pkt.]	$\bar{x} \pm sd$ [pkt.]	$\bar{x} \pm sd$ [pkt.]	$\bar{x} \pm sd$ [pkt.]	$\bar{x} \pm sd$ [pkt.]	$\bar{x} \pm sd$ [pkt.]	$\bar{x} \pm sd$ [pkt.]	$\bar{x} \pm sd$ [pkt.]	$\bar{x} \pm sd$ [pkt.]	
ANOVA [p=]	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0005 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0002 ***	
1-25	I (n=33)	808± 75	830± 111	787± 64	663± 58	618± 100	624± 85	643± 72	663± 156	786± 75	825± 76
	II (n=81)	893± 59	908± 71	863± 66	703± 65	720± 92	727± 72	719± 62	802± 110	826± 66	929± 80
	III (n=131)	919± 59	952± 47	886± 53	682± 74	775± 84	804± 73	804± 56	891± 75	837± 65	957± 72
	IV (n=37)	857± 46	920± 38	846± 55	644± 78	762± 109	797± 57	825± 53	886± 79	809± 54	917± 74
	ANOVA [p=]	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0008 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0001 ***
26-50	I (n=32)	764± 75	784± 85	734± 78	640± 85	650± 112	663± 125	694± 111	665± 100	763± 91	762± 59
	II (n=82)	836± 62	867± 56	821± 50	694± 80	719± 84	733± 97	751± 83	785± 90	816± 104	858± 75
	III (n=134)	853± 49	908± 47	838± 53	708± 74	746± 79	773± 60	786± 58	860± 76	820± 72	887± 65
	IV (n=32)	827± 71	873± 80	813± 66	673± 93	741± 71	759± 61	781± 61	862± 96	779± 47	865± 78

istotność statystyczna na poziomie: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Tabela 16. Charakterystyka wartości metrycznych poszczególnych konkurencji składowych dziesięcioboju z uwzględnieniem przyjętych etapów rozwoju sportowego w grupie 50 zawodników z grupy światowej startujących w latach 1968–1984

ETAP	100 m	110 m	400 m	1500 m	oszczep	dysk	kula	tyczka	wzwyż	w dal	
	$\bar{x} \pm sd$ [s]	$\bar{x} \pm sd$ [s]	$\bar{x} \pm sd$ [s]	$\bar{x} \pm sd$ [s]	$\bar{x} \pm sd$ [m]	$\bar{x} \pm sd$ [m]	$\bar{x} \pm sd$ [m]	$\bar{x} \pm sd$ [m]	$\bar{x} \pm sd$ [m]	$\bar{x} \pm sd$ [m]	
ANOVA [p=]	0,0007 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0008 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0002 ***	
1-25	I (n=33)	11,19± 0,30	15,48± 0,58	50,58± 1,32	277,79± 11,99	56,77± 6,65	38,96± 3,03	13,07± 0,87	4,08± 0,36	1,95± 0,08	7,00± 0,31
	II (n=82)	11,02± 0,24	14,86± 0,47	49,70± 1,33	271,49± 12,04	59,96± 6,83	42,67± 3,14	14,07± 0,98	4,36± 0,38	1,99± 0,09	7,25± 0,31
	III (n=87)	10,98± 0,28	14,68± 0,41	49,06± 1,14	269,78± 10,68	62,75± 5,15	45,56± 2,94	14,89± 0,74	4,62± 0,28	2,03± 0,06	7,40± 0,27
	IV (n=11)	10,92± 0,22	14,85± 0,36	49,61± 1,11	282,63± 16,72	61,84± 4,33	45,47± 2,77	14,78± 1,27	4,44± 0,36	1,99± 0,10	7,40± 0,16
	ANOVA [p=]	0,0000 ***	0,0005 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***
26-50	I (n=24)	11,21± 0,26	15,71± 0,52	51,30± 1,27	281,72± 13,82	52,52± 7,36	38,39± 3,63	12,66± 1,01	4,09± 0,33	1,91± 0,08	6,94± 0,29
	II (n=79)	11,04± 0,27	15,14± 0,56	49,71± 1,21	275,65± 15,90	56,77± 7,02	42,57± 3,72	13,84± 1,27	4,28± 0,41	1,96± 0,10	7,10± 0,33
	III (n=96)	11,01± 0,26	14,88± 0,43	49,49± 0,96	273,84± 14,62	61,86± 7,32	45,01± 2,76	14,58± 0,95	4,48± 0,26	1,97± 0,09	7,18± 0,28
	IV (n=12)	11,42± 0,34	14,93± 0,50	50,94± 1,48	304,22± 23,79	74,11± 5,23	45,41± 2,19	14,89± 0,59	4,31± 0,14	1,84± 0,08	6,90± 0,28

istotność statystyczna na poziomie: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Analiza rezultatów wyrażonych w jednostkach metrycznych dla grupy 50 dziesięcioboistów ze świata startujących w latach 1968–1984 (tabela 16) wykazała, że wśród 25 najlepszych zawodników, od pierwszych startów na etapie juniora do 30 roku życia, obserwowano ciągły postęp rezultatów osiąganych w biegach, rzutach i skokach, a najlepsze wyniki (oprócz biegu na 100 m) uzyskiwano na trzecim etapie rozwoju zawodniczego. Dodatkowo, na czwartym etapie kariery, tj. od 31 roku życia do momentu zakończenia kariery sportowców, zauważono spadek uzyskiwanych wyników w prawie wszystkich konkurencjach składowych. Wyjątek stanowiły średnie wyników w biegu na dystansie 100 m, gdzie zawodnicy uzyskali najlepszy czas w całym okresie kariery. Podobnie w skoku w dal, w którym zawodnicy skakali na równie wysokim poziomie, jak na etapie mistrzostwa, uzyskując średnio 7,40 m. W grupie zawodników ze świata, którzy ustanawiali swoje rekordy życiowe na niższym poziomie (pozycja w grupie od 26 do 50) rozwój wyników w konkurencjach składowych na początkowych etapach kariery (aż do 30 roku życia), podobnie jak w grupie czołowych dziesięcioboistów, charakteryzował się ciągłym postępem. Najlepsze rezultaty we wszystkich biegach i skokach, a także oszczepie uzyskiwano na trzecim etapie ontogenezy sportowej. W pozostałych konkurencjach rzutowych, tj. dysku i kuli, najdłuższe odległości osiągnęto dopiero na czwartym etapie kariery.

Tabela 17. Charakterystyka wartości metrycznych poszczególnych konkurencji składowych dziesięcioboju z uwzględnieniem przyjętych etapów rozwoju sportowego w grupie 25 zawodników z grupy światowej startujących w latach 1960–1967

ETAP	100 m	110 m	400 m	1500 m	oszczep	dysk	kula	tyczka	wzwyż	w dal	
	$\bar{x} \pm sd$ [s]	$\bar{x} \pm sd$ [s]	$\bar{x} \pm sd$ [s]	$\bar{x} \pm sd$ [s]	$\bar{x} \pm sd$ [m]	$\bar{x} \pm sd$ [m]	$\bar{x} \pm sd$ [m]	$\bar{x} \pm sd$ [m]	$\bar{x} \pm sd$ [m]	$\bar{x} \pm sd$ [m]	
ANOVA [p=]	0,0401 *	0,0349 *	0,0101 *	0,0342 *	0,0000 ***	0,0001 ***	0,0033 **	0,0001 ***	0,0402 *	0,0000 ***	
I-25	I (n=6)	11,32± 0,18	16,37± 0,81	51,70± 1,21	273,67± 11,81	55,12± 6,90	39,12± 3,16	12,76± 0,85	3,57± 0,26	1,70± 0,17	6,51± 0,42
	II, (n=37)	11,07± 0,26	15,51± 0,65	50,22± 1,27	275,73± 11,78	59,02± 5,85	42,06± 2,94	14,14± 0,91	3,78± 0,29	1,80± 0,08	6,87± 0,29
	III (n=83)	11,06± 0,30	15,30± 0,60	51,23± 1,31	287,01± 18,49	59,01± 4,98	43,61± 3,71	14,15± 1,04	3,99± 0,28	1,80± 0,08	6,89± 0,30
	IV (n=17)	11,22± 0,26	15,11± 0,40	52,24± 1,24	300,88± 15,98	55,68± 4,62	43,73± 2,38	14,27± 0,92	3,90± 0,25	1,79± 0,04	6,81± 0,34

istotność statystyczna na poziomie: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Wyniki analizy przebiegu karier 25 najlepszych zawodników świata startujących w latach 1960–1967 w czterech przyjętych etapach rozwoju sportowego przedstawia tabela 17. Na podstawie obliczonych wartości średnich oraz wartości odchylenia standardowego dla uzyskanych wielkości metrycznych zaobserwowano, że w konkurencji biegu na 100 m najlepsze rezultaty zawodnicy uzyskiwali na drugim i trzecim etapie rozwoju, gdzie średnie wyniki były bardzo do siebie zbliżone i wynosiły ok. 11,07 s. W biegu przez płotki najkrótsze

czasy dziesięcioboisici zdobywali po 30 roku życia, a średni czas kształtował się na poziomie 15,11 s. W biegu na 400 m najlepiej wypadli zawodnicy na etapie młodzieżowca, a analizując bieg na dystansie 1500 m, zauważono, że najszybciej biegano na etapie juniora, po którym to widoczny jest ciągły spadek średnich czasów. W rzutach lekkoatletycznych rozgrywanych w czasie dziesięcioboju najlepsze średnie rezultaty w rzucie oszczepem osiągnęto w drugim i trzecim etapie, gdzie wynik średni był na poziomie 59 m. W konkurencji rzutu dyskiem oraz kulą najlepiej rzucano na etapie mistrzostwa i w końcowej fazie kariery, gdzie średnia odległość uzyskana w dysku wynosiła powyżej 43,6 m, natomiast w pchnięciu kulą powyżej 14,1 m. Rozpatrując średnie wartości uzyskane w konkurencjach skoków, najlepsze średnie wyniki w skoku o tyczce zaobserwowano na etapie mistrzostwa, gdzie średnia wysokość skoku w badanej grupie dziesięcioboistów wynosiła 3,99 m. W skoku wzwyż oraz w skoku w dal najlepsze rezultaty uzyskiwano już na etapie młodzieżowca, a następnie mistrzostwa sportowego, gdzie średni wynik wynosił 1,80 m w skoku wzwyż oraz 6,87 m w skoku w dal.

W grupie 25 najlepszych zawodników z Polski osiągających swoje najlepsze wyniki w latach 1985–2015 obliczono średnie wartości metryczne oraz punktowe w przyjętych okresach rozwoju zawodniczego (tabele 18–19). Na podstawie wykonanej analizy stwierdzono, że polscy dziesięcioboisici najczęściej kończą karierę przed 31 rokiem życia, dlatego też w obliczeniach nie można uwzględnić ostatniego etapu ontogenezy sportowej, czyli okresu obniżenia wyników. Dodatkowo, zaobserwowano, że w całym okresie startów we wszystkich konkurencjach składowych widoczny był ciągły postęp osiągniętych rezultatów, przy czym najlepsze wyniki polscy dziesięcioboisici uzyskiwali w wieku od 24 do 30 roku życia. Analizując poziom przygotowania biegowego zawodników z badanej grupy (średnie czasy oraz wartości punktowe uzyskane w biegach), stwierdzono, że największy udział punktowy w końcowym wyniku rywalizacji miał bieg przez płotki na dystansie 110 m, który charakteryzował się średnim czasem na poziomie 15,47 s oraz 836 punktów. Natomiast najmniejszy wkład zaobserwowano dla biegu na 1500 m, który wyznaczono na poziomie 638 punktów (4 min. 47,28 s). Dodatkowo zaobserwowano, że wyniki uzyskiwane w tej wymagającej konkurencji biegowej były na bardzo zbliżonym poziomie w całym okresie ontogenezy sportowej polskich dziesięcioboistów.

W trzech konkurencjach rzutowych największe średnie wartości punktowe wśród polskich zawodników wyznaczono dla konkurencji pchnięcia kulą, w której średnia odległość rzutu wynosiła 12,99 m oraz 720 punktów. Najsłabsze wyniki cząstkowe, na etapie mistrzostwa, określono w rzucie oszczepem, gdzie kształtowały się one na poziomie 54,80 m oraz 660 punktów.

Tabela 18. Charakterystyka wartości metrycznych poszczególnych konkurencji składowych dziesięcioboju z uwzględnieniem przyjętych etapów rozwoju sportowego w grupie 25 polskich zawodników startujących w latach 1985–2015

ETAP	100 m $\bar{x} \pm sd$ [s]	110 m $\bar{x} \pm sd$ [s]	400 m $\bar{x} \pm sd$ [s]	1500 m $\bar{x} \pm sd$ [s]	oszczep $\bar{x} \pm sd$ [m]	dysk $\bar{x} \pm sd$ [m]	kula $\bar{x} \pm sd$ [m]	tyczka $\bar{x} \pm sd$ [m]	wzwyż $\bar{x} \pm sd$ [m]	w dal $\bar{x} \pm sd$ [m]	
ANOVA [p=]	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,6078	
1-25	I (n=43)	11,62± 0,33	15,71± 0,64	52,11± 1,63	288,34± 13,79	44,52± 5,75	35,49± 5,05	12,07± 1,49	3,80± 0,60	1,87± 0,10	6,55± 0,43
	II (n=82)	11,33± 0,24	15,47± 0,63	51,07± 1,84	287,91± 14,43	52,68± 5,83	38,81± 3,69	12,99± 0,95	4,26± 0,41	1,96± 0,08	6,95± 0,29
	III (n=67)	11,23± 0,22	15,13± 0,46	50,53± 1,28	287,28± 13,97	54,80± 4,37	41,21± 3,40	13,86± 0,70	4,47± 0,34	1,98± 0,08	7,10± 0,27
	IV (n=0)	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

istotność statystyczna na poziomie: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Tabela 19. Charakterystyka wartości punktowych poszczególnych konkurencji składowych dziesięcioboju z uwzględnieniem przyjętych etapów rozwoju sportowego w grupie 25 polskich zawodników startujących w latach 1985–2015

ETAP	100 m $\bar{x} \pm sd$ [pkt]	110 m $\bar{x} \pm sd$ [pkt]	400 m $\bar{x} \pm sd$ [pkt]	1500 m $\bar{x} \pm sd$ [pkt]	oszczep $\bar{x} \pm sd$ [pkt]	dysk $\bar{x} \pm sd$ [pkt]	kula $\bar{x} \pm sd$ [pkt]	tyczka $\bar{x} \pm sd$ [pkt]	wzwyż $\bar{x} \pm sd$ [pkt]	w dal $\bar{x} \pm sd$ [pkt]	
ANOVA [p=]	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,5991	
1-25	I (n=43)	729± 67	767± 73	721± 70	631± 82	508± 84	574± 101	611± 90	568± 158	692± 89	710± 98
	II (n=82)	789± 50	795± 70	768± 80	634± 85	629± 87	641± 75	667± 58	694± 115	769± 72	802± 69
	III (n=67)	811± 48	836± 51	791± 58	638± 85	660± 65	689± 69	720± 43	752± 100	788± 77	837± 65
	IV (n=0)	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

istotność statystyczna na poziomie: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Na końcowy wyniki rywalizacji w dziesięcioboju mają również wpływ rezultaty uzyskane w trzech konkurencjach skoków, gdzie ważne są przygotowanie szybkościowe, siła eksplozywna kończyn oraz umiejętności techniczne zawodników. W tabeli przedstawiającej statystyki opisowe dotyczące wyników osiągniętych przez polską grupę dziesięcioboistów (tabele 18–19) zauważono, że najlepsze rezultaty w całym okresie rozwoju zawodniczego widoczne były w konkurencji skoku w dal, a najlepsze skoki oddawano w wieku od 24 do 30 roku życia, gdzie średnio uzyskiwano odległość około 7,10 m oraz średni wynik punktowy na poziomie 837 punktów. Biorąc pod uwagę cały okres kariery, zaobserwowano stosunkowo słabe wyniki w konkurencji skoku o tyczce.

Tabela 20. Charakterystyka wartości metrycznych poszczególnych konkurencji składowych dziesięcioboju z uwzględnieniem przyjętych etapów rozwoju sportowego w grupie 25 polskich zawodników startujących w latach 1968–1984

ETAP	100 m	110 m	400 m	1500 m	oszczep	dysk	kula	tyczka	wzwyż	w dal	
	$\bar{x} \pm sd$ [s]	$\bar{x} \pm sd$ [s]	$\bar{x} \pm sd$ [s]	$\bar{x} \pm sd$ [s]	$\bar{x} \pm sd$ [m]	$\bar{x} \pm sd$ [m]	$\bar{x} \pm sd$ [m]	$\bar{x} \pm sd$ [m]	$\bar{x} \pm sd$ [m]	$\bar{x} \pm sd$ [m]	
ANOVA [p=]	0,0157 *	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0055 **	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0009 ***	
I-25	I (n=31)	11,35± 0,27	16,32± 0,74	52,57± 1,54	290,81± 15,40	47,77± 6,93	33,96± 3,75	11,29± 0,87	3,50± 0,55	1,88± 0,09	6,69± 0,32
	II (n=93)	11,26± 0,23	15,70± 0,81	50,97± 1,30	279,38± 14,82	52,69± 6,35	38,89± 3,52	12,54± 0,93	4,00± 0,46	1,93± 0,09	6,88± 0,32
	III (n=82)	11,17± 0,34	15,25± 0,63	50,15± 1,50	277,35± 17,85	56,40± 5,18	41,64± 3,62	13,44± 1,03	4,35± 0,37	1,94± 0,08	7,06± 0,33
	IV (n=4)	11,31± 0,17	14,94± 0,60	51,19± 0,94	287,50± 4,45	59,44± 5,36	37,35± 3,22	12,88± 1,11	4,15± 0,47	1,86± 0,05	7,04± 0,19

istotność statystyczna na poziomie: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Wśród polskich dziesięcioboistów, którzy swoje rekordy życiowe ustanawiali w latach 1968–1984 (tabela 20), w większości konkurencji składowych (oprócz biegu przez płotki oraz rzutu oszczepem) zaobserwowano, że najlepsze rezultaty osiągnęto w wieku od 24 do 30 lat (etap mistrzostwa), a wcześniejsze lata startów charakteryzowały się ciągłym wzrostem osiąganych wyników. Po 30 roku następuje okres pogorszenia się wyników. Odmienna sytuacja miała miejsce w konkurencjach biegu przez płotki oraz rzutu oszczepem, w których najlepsze wyniki wyznaczono w ostatnim etapie rozwoju kariery polskiego dziesięcioboisty (od 31 roku życia do końca kariery), podczas gdy na wcześniejszych etapach, począwszy od etapu juniora, zaobserwowano ciągły wzrost osiąganych wyników. Dla zawodników w wieku od 31 lat średni czas w biegu na dystansie 110 m wynosił 14,94 s, a średnia odległość rzutu oszczepem równa była 59,44 m.

3.4. Zależności między składowymi konkurencjami dziesięcioboju w trzech okresach rozwoju lekkiej atletyki

Ze względu na trudny w realizacji trening oraz ograniczenia czasowe spowodowane liczbą konkurencji składowych dziesięcioboju konieczna jest ciągła optymalizacja procesu treningowego wieloboisty. Zasadne zatem wydaje się poszukiwanie związków pomiędzy poszczególnymi konkurencjami oraz ich wpływem na wynik końcowy. Wiedza na ten temat może w sposób znaczący wspomóc trenerów i zawodników w efektywniejszym prowadzeniu treningu.

W tabeli 21 przedstawione zostały wyniki analizy korelacji pomiędzy wynikami końcowymi a wynikami metrycznymi z każdej składowej dziesięcioboju w badanych grupach zawodniczych oraz badanych okresach czasu. Na ich podstawie stwierdzono, że w okresie

1985–2015 w grupie 25 najlepszych zawodników ze świata, największy wpływ na wynik końcowy miały konkurencje szybkościowe takie jak bieg przez płotki ($r_{xy} = -0,76$), sok w dal ($r_{xy} = 0,75$) oraz bieg na dystansie 400 m ($r_{xy} = -0,72$). Najmniejszy udział w wyniku końcowym miała konkurencja biegu na 1500 m, dla której wartość r_{xy} wynosiła $-0,20$. W kolejnym badanym okresie historii lekkoatletycznego dziesięcioboju, obejmującego lata od 1968 do 1984, analiza związków pomiędzy wartościami metrycznymi a sumarycznym wynikiem końcowym wykazała, że najsilniejsze korelacje liniowe zaobserwowano dla konkurencji pchnięcia kulą ($r_{xy} = 0,84$), skoku o tyczce ($r_{xy} = 0,77$) oraz skoku w dal i rzutu dyskiem ($r_{xy} = 0,71$). Najmniejszy związek z wynikiem końcowym odnotowano dla konkurencji biegu na dystansie 100 m, gdzie wartość współczynnika korelacji wynosiła $r_{xy} = -0,39$. Największa wartość korelacji, określająca zależność pomiędzy zmiennymi, została wyznaczona na poziomie $r_{xy} = 0,58$ dla skoku w dal, podczas gdy najmniejsza wartość wynosiła $-0,17$ dla biegu na 1500 m.

W grupie najlepszych zawodników z Polski startujących współcześnie (tj. lata 1985–2015) zaobserwowano, że największy związek pomiędzy wynikami metrycznymi spośród dziesięciu konkurencji składowych z wynikiem końcowym miały rezultaty uzyskane w skoku w dal ($r_{xy} = 0,77$), sprincie na dystansie 100 m ($r_{xy} = -0,75$), pchnięciu kulą oraz skoku o tyczce ($r_{xy} = 0,73$). W latach 1968–1984 wyznaczone wartości współczynnika korelacji wskazują na duży związek konkurencji skoku o tyczce ($r_{xy} = 0,81$), biegu na dystansie 400 m ($r_{xy} = -0,74$) oraz skoku w dal ($r_{xy} = 0,73$). W polskiej grupie zawodników w obu badanych okresach najmniejsze wartości korelacji wyznaczono pomiędzy wynikiem końcowym a biegiem na dystansie 1500 m).

Tabela 21. Analiza wpływu poszczególnych konkurencji składowych na wynik końcowy dziesięcioboju z uwzględnieniem wartości metrycznych w grupach 25 najlepszych zawodników z Polski i świata

ZMIENNA	ŚWIAT			POLSKA	
	1985–2015 r_{xy}	1968–1984 r_{xy}	1960–1967 r_{xy}	1985–2015 r_{xy}	1968–1984 r_{xy}
100 m	-0,63**	-0,39**	-0,40**	-0,75**	-0,56**
w dal	0,75**	0,71**	0,58**	0,77**	0,73**
kula	0,68**	0,84**	0,38**	0,73**	0,72**
wzwyż	0,42**	0,50**	0,55**	0,59**	0,51**
400 m	-0,72**	-0,66**	-0,43**	-0,70**	-0,74**
110 m	-0,76**	-0,69**	-0,55**	-0,68**	-0,66**
dysk	0,67**	0,71**	0,46**	0,63**	0,69**
tyczka	0,71**	0,77**	0,52**	0,73**	0,81**
oszczep	0,63**	0,58**	0,46**	0,69**	0,61**
1500 m	-0,20**	-0,53**	-0,17**	-0,29**	-0,39**

*istotność statystyczna na poziomie: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$*

Wyniki metryczne uzyskane w każdej z dziesięciu konkurencji składowych przeliczane są za pomocą tabel wielobojowych na punkty i sumowane. Zatem finalny wynik

dziesięcioboju w dużym stopniu zależał od obowiązujących przeliczników punktowych, co w historii wielobojów kilkakrotnie doprowadziło do zmian sposobu ich przeliczania. Każda zmiana tabel miała pośredni lub bezpośredni wpływ na proces treningowy dziesięcioboisty, jak również znaczenie poszczególnych konkurencji i wyników w nich uzyskiwanych. Analizę wpływu poszczególnych konkurencji składowych na wynik końcowy z uwzględnieniem tabel wielobojowych z 1985 roku przedstawiono w tabeli 22. Badając zależności w grupie 25 najlepszych zawodników ze świata, którzy startowali w latach 1985–2015, zaobserwowano, że największy wpływ na wynik końcowy wyznaczono dla konkurencji biegu przez płotki ($r_{xy} = 0,77$), skoku w dal ($r_{xy} = 0,74$) oraz biegu na 400 m ($r_{xy} = 0,72$). Najmniejszą wartość korelacji wyznaczono dla biegu na dystansie 1500 m ($r_{xy} = 0,21$).

W polskiej grupie dziesięcioboistów wyznaczone wartości korelacji pokazują, że największy związek z wynikiem końcowym miały rezultaty osiągnięte w konkurencji skoku w dal ($r_{xy} = 0,76$), biegu na 100 m ($r_{xy} = 0,74$) i pchnięcia kulą ($r_{xy} = 0,73$), a najmniejszą zależność zaobserwowano dla biegu na 1500 m.

Tabela 22. Analiza wpływu poszczególnych konkurencji składowych na wynik końcowy dziesięcioboju z uwzględnieniem wartości punktowych (1985-2015)

ZMIENNA	ŚWIAT r_{xy}	POLSKA r_{xy}
100 m	0,66**	0,74**
w dal	0,74**	0,76**
kula	0,68**	0,73**
wzwyż	0,41**	0,58**
400 m	0,72**	0,70**
110 m	0,77**	0,69**
dysk	0,66**	0,62**
tyczka	0,70**	0,72**
oszczep	0,62**	0,68**
1500 m	0,21**	0,29**

*istotność statystyczna na poziomie: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$*

Badając związki pomiędzy wynikami uzyskanymi w poszczególnych konkurencjach składowych dziesięcioboju w trzech przyjętych okresach historii lekkiej atletyki i w całym okresie rozwoju kariery sportowej najlepszych zawodników z Polski i świata, wyznaczono liczne istotne statystycznie wartości współczynników korelacji. Analizując zależności wyznaczone dla grupy najlepszych wieloboistów świata startujących w latach 1985–2015 (tabela 23), największy związek między konkurencjami stwierdzono dla dwóch rzutów, tj. pchnięcia kulą oraz rzutu dyskiem, gdzie wartość współczynnika kształtowała się na poziomie 0,76. Kolejnymi parami konkurencji będących w pewnym stopniu współzależnymi

od siebie były biegi na dystansach sprinterskich: 100 m, 400 m oraz 110 m ppł., gdzie obliczone r_{xy} wyniosło powyżej 0,58. Najmniejsze i nieliczne pod względem istotności okazały się powiązania poszczególnych składowych dziesięcioboju z konkurencją typowo wytrzymałościową i rozgrywaną jako ostatnią, tj. biegiem na 1500 m, a także skokiem wzwyż.

Tabela 23. Zależności pomiędzy rezultatami konkurencji składowych w grupie 25 najlepszych zawodników świata startujących w latach 1985–2015

		100 m	w dal	kula	wzwyż	400 m	110 m	dysk	tyczka	oszczep	1500 m
	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}
100 m	r_{xy}	-----	-0,58**	-0,30**	-0,13*	0,61**	0,58**	-0,35**	-0,34**	-0,23**	-0,03
w dal	r_{xy}	-0,58**	-----	0,37**	0,31**	-0,55**	-0,52**	0,26**	0,50**	0,41**	-0,16**
kula	r_{xy}	-0,30**	0,37**	-----	0,19**	-0,35**	-0,50**	0,76**	0,39**	0,40**	0,18**
wzwyż	r_{xy}	-0,13*	0,31**	0,19**	-----	-0,16**	-0,27**	0,21**	0,16**	0,26**	-0,07
400 m	r_{xy}	0,61**	-0,55**	-0,35**	-0,16**	-----	0,61**	-0,34**	-0,44**	-0,28**	0,30**
110 m	r_{xy}	0,58**	-0,52**	-0,50**	-0,27**	0,61**	-----	-0,52**	-0,41**	-0,34**	0,11
dysk	r_{xy}	-0,35**	0,26**	0,76**	0,21**	-0,34**	-0,52**	-----	0,41**	0,33**	0,18**
tyczka	r_{xy}	-0,34**	0,50**	0,39**	0,16**	-0,44**	-0,41**	0,41**	-----	0,32**	-0,07
oszczep	r_{xy}	-0,23**	0,41**	0,40**	0,26**	-0,28**	-0,34**	0,33**	0,32**	-----	-0,14*
1500 m	r_{xy}	-0,03	-0,16**	0,18**	-0,07	0,30**	0,11	0,18**	-0,07	-0,14*	-----

*istotność statystyczna na poziomie: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$*

W grupie czołowych zawodników świata, którzy swoje rekordy życiowe uzyskiwali we wcześniejszych latach (1968–1984), najbardziej znaczące okazały się, podobnie jak w poprzednio opisywanej grupie, powiązania pomiędzy konkurencjami rzutowymi (tabela 24), tj. zmienną pchnięcie kulą korelującą z rzutem dyskiem na poziomie $r_{xy} = 0,73$ oraz z rzutem oszczepem ($r_{xy} = 0,61$), który z kolei ma wpływ na wyniki uzyskane w rzucie dyskiem ($r_{xy} = 0,53$). Wśród pozostałych grup konkurencji rozgrywanych podczas dziesięcioboju istotne i największe wartości współczynników wyznaczono m.in. dla biegów na dystansie 100 i 400 m ($r_{xy} = 0,55$), a także pchnięcia kulą i skoku w dal ($r_{xy} = 0,55$). Obliczone zależności wskazują również na znaczenie przygotowania biegowego (100 m, 400 m i 110 m), które ma wpływ na wyniki uzyskiwane w konkurencji skoku w dal. W tej grupie zawodniczej nieistotne statystycznie okazały się związki pomiędzy sprintem na dystansie 100 m z konkurencjami skoku wzwyż, skoku o tyczce, rzutu oszczepem oraz biegiem na 1500 m.

Tabela 24. Zależności pomiędzy rezultatami konkurencji składowych w grupie 25 najlepszych zawodników świata startujących w latach 1968–1984

		100 m	w dal	kula	wzwyż	400 m	110 m	dysk	tyczka	oszczep	1500 m
	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}
100 m	r_{xy}	-----	-0,42**	-0,25**	0,06	0,55**	0,39**	-0,17*	-0,07	-0,06	-0,07
w dal	r_{xy}	-0,42**	-----	0,55**	0,38**	-0,52**	-0,49**	0,37**	0,47**	0,18**	-0,27**
kula	r_{xy}	-0,25**	0,55**	-----	0,33**	-0,45**	-0,54**	0,73**	0,59**	0,61**	-0,31**
wzwyż	r_{xy}	0,06	0,38**	0,33**	-----	-0,09	-0,28**	0,24**	0,41**	0,20**	-0,24**
400 m	r_{xy}	0,55**	-0,52**	-0,45**	-0,09	-----	0,45**	-0,30**	-0,39**	-0,25**	0,40**
110 m	r_{xy}	0,39**	-0,49**	-0,54**	-0,28**	0,45**	-----	-0,40**	-0,49**	-0,27**	0,27**
dysk	r_{xy}	-0,17*	0,37**	0,73**	0,24**	-0,30**	-0,40**	-----	0,49**	0,53**	-0,24**
tyczka	r_{xy}	-0,07	0,47**	0,59**	0,41**	-0,39**	-0,49**	0,49**	-----	0,36**	-0,45**
oszczep	r_{xy}	-0,06	0,18**	0,61**	0,20**	-0,25**	-0,27**	0,53**	0,36**	-----	-0,18**
1500 m	r_{xy}	-0,07	-0,27**	-0,31**	-0,24**	0,40**	0,27**	-0,24**	-0,45**	-0,18**	-----

istotność statystyczna na poziomie: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

W grupie dziesięcioboistów ze świata, których wyniki na najwyższym poziomie zdobywane były w trakcie kariery sportowej przypadającej na okres 1960–1968, obliczone wartości korelacji (tabela 25) wskazywały na niewielką ilość znaczących związków pomiędzy konkurencjami. Największe zależności zaobserwowano dla pchnięcia kulą i rzutu dyskiem ($r_{xy} = 0,6$), biegu na 400 m a biegiem na dystansie 1500 m ($r_{xy} = 0,49$), a także biegu na 100 m ze skokiem w dal ($r_{xy} = -0,41$). Współczynniki korelacji wyznaczone pomiędzy pozostałymi składowymi charakteryzują się małymi i często nieistotnymi statystycznie wartościami, które świadczą o braku powiązań tych konkurencji między sobą.

Tabela 25. Zależności pomiędzy rezultatami konkurencji składowych w grupie 25 najlepszych zawodników świata startujących w latach 1960–1967

		100 m	w dal	kula	wzwyż	400 m	110 m	dysk	tyczka	oszczep	1500 m
	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}
100 m	r_{xy}	-----	-0,41**	-0,33**	-0,03	0,34**	0,26**	-0,20*	-0,06	0,07	-0,31**
w dal	r_{xy}	-0,41**	-----	0,30**	0,34**	-0,17*	-0,19*	0,18*	0,17*	0,15	0,10
kula	r_{xy}	-0,33**	0,30**	-----	0,13	0,06	-0,08	0,60**	0,07	0,06	0,33**
wzwyż	r_{xy}	-0,03	0,34**	0,13	-----	0,06	-0,35**	0,16*	0,26**	0,18*	-0,08
400 m	r_{xy}	0,34**	-0,17*	0,06	0,06	-----	0,13	0,06	-0,01	-0,23**	0,49**
110 m	r_{xy}	0,26**	-0,19*	-0,08	-0,35**	0,13	-----	-0,20*	-0,21*	-0,07	-0,09
dysk	r_{xy}	-0,20*	0,18*	0,60**	0,16*	0,06	-0,20*	-----	0,25**	0,04	0,24**
tyczka	r_{xy}	-0,06	0,17*	0,07	0,26**	-0,01	-0,21*	0,25**	-----	0,17*	0,10
oszczep	r_{xy}	0,07	0,15	0,06	0,18*	-0,23**	-0,07	0,04	0,17*	-----	-0,37**
1500 m	r_{xy}	-0,31**	0,10	0,33**	-0,08	0,49**	-0,09	0,24**	0,10	-0,37**	-----

istotność statystyczna na poziomie: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

W grupie najlepszych zawodników z Polski, startujących w okresie 1985–2015, zbadane związki pomiędzy konkurencjami składowymi dziesięcioboju (tabela 26) wykazują podobieństwa do grupy najlepszych zawodników świata z tego okresu. Największe wartości współczynników wyznaczono pomiędzy rzutem dyskiem oraz pchnięciem kulą ($r_{xy} = 0,72$), a także konkurencją biegu na 100 m i konkurencją skoku w dal ($r_{xy} = -0,64$) oraz biegiem na 400 m, gdzie r_{xy} wynosiło 0,64. Oprócz powiązań pomiędzy składowymi w poszczególnych

grupach konkurencji (biegi, rzuty, skoki), zaobserwowano również istotne powiązania niektórych konkurencji z różnych grup, np. znaczące związki skoku o tycze oraz rzutu oszczepem z biegami na 100 m i 110 m ppł., bazującymi na przygotowaniu szybkościowym zawodników. Najmniejsze i nieistotne statystycznie zależności z niemal wszystkimi składowymi zaobserwowano dla biegu na dystansie 1500 m, gdzie wyjątek stanowiła korelacja tej konkurencji z biegiem na 400 m ($r_{xy} = 0,53$).

Tabela 26. Zależności pomiędzy rezultatami konkurencji składowych w grupie najlepszych polskich zawodników startujących w latach 1985–2015

		100 m	w dal	kula	wzwyż	400 m	110 m	dysk	tyczka	oszczep	1500 m
	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}
100 m	r_{xy}	-----	-0,64**	-0,51**	-0,29**	0,64**	0,47**	-0,39**	-0,46**	-0,54**	0,17
w dal	r_{xy}	-0,64**	-----	0,43**	0,51**	-0,51**	-0,40**	0,35**	0,52**	0,53**	-0,13
kula	r_{xy}	-0,51**	0,43**	-----	0,36**	-0,32**	-0,48**	0,72**	0,42**	0,58**	-0,02
wzwyż	r_{xy}	-0,29**	0,51**	0,36**	-----	-0,32**	-0,27**	0,20**	0,43**	0,40**	0,04
400 m	r_{xy}	0,64**	-0,51**	-0,32**	-0,32**	-----	0,53**	-0,13	-0,42**	-0,37**	0,53**
110 m	r_{xy}	0,47**	-0,40**	-0,48**	-0,27**	0,53**	-----	-0,46**	-0,53**	-0,34**	0,10
dysk	r_{xy}	-0,39**	0,35**	0,72**	0,20**	-0,13	-0,46**	-----	0,37**	0,48**	0,00
tyczka	r_{xy}	-0,46**	0,52**	0,42**	0,43**	-0,42**	-0,53**	0,37**	-----	0,28**	-0,05
oszczep	r_{xy}	-0,54**	0,53**	0,58**	0,40**	-0,37**	-0,34**	0,48**	0,28**	-----	-0,04
1500 m	r_{xy}	0,17	-0,13	-0,02	0,04	0,53**	0,10	0,00	-0,05	-0,04	-----

*istotność statystyczna na poziomie: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$*

Tabela 27. Zależności pomiędzy rezultatami konkurencji składowych w grupie najlepszych polskich zawodników startujących w latach 1968–1984

		100 m	w dal	kula	Wzwyż	400 m	110 m	dysk	tyczka	oszczep	1500 m
	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}	r_{xy}
100 m	r_{xy}	-----	-0,54**	-0,31**	-0,19**	0,45**	0,29**	-0,30**	-0,33**	-0,39**	0,04
w dal	r_{xy}	-0,54**	-----	0,45**	0,47**	-0,48**	-0,41**	0,40**	0,50**	0,47**	-0,15*
kula	r_{xy}	-0,31**	0,45**	-----	0,22**	-0,35**	-0,38**	0,75**	0,56**	0,58**	-0,08
wzwyż	r_{xy}	-0,19**	0,47**	0,22**	-----	-0,34**	-0,28**	0,23**	0,38**	0,12	-0,14
400 m	r_{xy}	0,45**	-0,48**	-0,35**	-0,34**	-----	0,62**	-0,32**	-0,49**	-0,26**	0,54**
110 m	r_{xy}	0,29**	-0,41**	-0,38**	-0,28**	0,62**	-----	-0,32**	-0,43**	-0,25**	0,29**
dysk	r_{xy}	-0,30**	0,40**	0,75**	0,23**	-0,32**	-0,32**	-----	0,58**	0,48**	-0,03
tyczka	r_{xy}	-0,33**	0,50**	0,56**	0,38**	-0,49**	-0,43**	0,58**	-----	0,47**	-0,20**
oszczep	r_{xy}	-0,39**	0,47**	0,58**	0,12	-0,26**	-0,25**	0,48**	0,47**	-----	0,05
1500 m	r_{xy}	0,04	-0,15*	-0,08	-0,14	0,54**	0,29**	-0,03	-0,20**	0,05	-----

*istotność statystyczna na poziomie: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$*

W polskiej grupie dziesięcioboistów startujących w latach 1968–1984 wyznaczone wartości współczynnika korelacji liniowej Pearsona (tabela 27) wskazują na istotne statystycznie związki pomiędzy wszystkimi składowymi dziesięcioboju. Największą współzależność pomiędzy wynikami metrycznymi zaobserwowano dla pchnięcia kulą i rzutu dyskiem ($r_{xy} = 0,75$), a korelacje pomiędzy pozostałymi konkurencjami składowymi były także znaczące. Wśród konkurencji biegowych zaobserwowano istotne statystycznie związki biegu na 400 m z biegiem przez płotki ($r_{xy} = 0,62$) oraz biegiem na 1500 m ($r_{xy} = 0,54$), a wartości korelacji wyznaczone dla biegu na dystansie 100 m wykazały, że przygotowanie

do tej konkurencji miało również wpływ na wyniki osiągnięte w skoku w dal ($r_{xy} = -0,54$) i w biegu na 400 m ($r_{xy} = 0,45$). Istotne były również zależności wskazujące na znaczenie siły w pozostałych konkurencjach rzutowych (rzut oszczepem i pchnięcie kulą – $r_{xy} = 0,58$) oraz skoku o tyczce, który korelował na poziomie 0,58 z rzutem dyskiem.

3.5. Zależności między składowymi konkurencjami dziesięcioboju na czterech etapach rozwoju mistrzostwa sportowego

W analizie wpływu poszczególnych konkurencji na wynik końcowy dziesięcioboju uwzględniono, oprócz wyników metrycznych i punktowych, również cztery przyjęte okresy rozwoju sportowego. W grupie 25 najlepszych zawodników świata, którzy startowali w okresie od 1985 do 2015, zaobserwowano wiele istotnych statystycznie zależności (tabele 28–29).

Tabela 28. Analiza wpływu poszczególnych konkurencji składowych na wynik końcowy dziesięcioboju z uwzględnieniem wartości metrycznych oraz okresów rozwoju sportowego w grupie świat w latach 1985–2015

GR.	ETAP	N	100 m	w dal	kula	wzwyż	400 m	110 m	dysk	tyczka	oszczep	1500 m
1-25	I	33	-0,45**	0,78**	0,71**	0,39*	-0,75**	-0,83**	0,73**	0,47**	0,55**	-0,40*
	II	81	-0,47**	0,72**	0,55**	0,49**	-0,68**	-0,69**	0,51**	0,61**	0,50**	-0,44**
	III	131	-0,58**	0,64**	0,26**	0,31**	-0,63**	-0,51**	0,15	0,31**	0,44**	-0,10
	IV	37	-0,71**	0,69**	-0,05	0,31	-0,56**	-0,54**	0,19	0,59**	0,41*	-0,32
26-50	I	32	-0,59**	0,26	0,70**	0,49**	-0,66**	-0,70**	0,81**	0,66**	0,64**	-0,31
	II	82	-0,61**	0,46**	0,74**	0,63**	-0,52**	-0,59**	0,74**	0,52**	0,59**	-0,08
	III	134	-0,51**	0,45**	0,37**	0,47**	-0,47**	-0,46**	0,32**	0,59**	0,28**	-0,28**
	IV	32	-0,80**	0,58**	0,29	0,26	-0,82**	-0,79**	0,43*	0,71**	0,16	-0,48**

*istotność statystyczna na poziomie: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$*

Tabela 29. Analiza wpływu (r_{xy}) poszczególnych konkurencji składowych na wynik końcowy dziesięcioboju z uwzględnieniem przelicznika punktowego w grupie świat w okresie 1985–2015

GR.	ETAP	N	100 m	w dal	kula	wzwyż	400 m	110 m	dysk	tyczka	oszczep	1500 m
1-25	I	33	0,50**	0,78**	0,70**	0,39*	0,75**	0,83**	0,72**	0,46**	0,54**	0,41*
	II	81	0,57**	0,72**	0,55**	0,50**	0,68**	0,69**	0,51**	0,61**	0,50**	0,45**
	III	131	0,57**	0,64**	0,26**	0,31**	0,62**	0,51**	0,14	0,30**	0,44*	0,11
	IV	37	0,71**	0,69**	-0,05	0,31	0,56**	0,55**	0,19	0,59**	0,41*	0,31
26-50	I	32	0,66**	0,26	0,70**	0,49**	0,66**	0,71**	0,81**	0,65**	0,63**	0,31
	II	82	0,60**	0,46**	0,74**	0,62**	0,52**	0,59**	0,74**	0,52**	0,59**	0,09
	III	134	0,51**	0,45**	0,37**	0,46**	0,47**	0,46**	0,32**	0,59**	0,28**	0,27**
	IV	32	0,80**	0,58**	0,30	0,26	0,82**	0,79**	0,43*	0,72**	0,16	0,46**

*istotność statystyczna na poziomie: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$*

Niemal w całym okresie rozwoju kariery dziesięcioboisty obserwuje się znaczący i istotny statystycznie wpływ konkurencji biegu przez płotki, skoku w dal oraz biegu na 400 metrów. Wartości współczynników korelacji wyznaczone dla tych trzech konkurencji miały prawie zawsze największe wartości na poszczególnych etapach z wyjątkiem ostatnich lat startów zawodników. Badając początki karier zawodniczych (etap juniora), największe wartości korelacji zaobserwowano dla konkurencji biegu przez płotki ($r_{xy} = -0,83$), skoku

w dal ($r_{xy} = 0,78$) oraz biegu na 400 m ($r_{xy} = -0,75$), co potwierdza również wykonana analiza dla przelicznika punktowego. Najmniejszy związek z wynikiem końcowym na tym etapie rozwoju miały konkurencje skoku wzwyż oraz biegu na dystansie 1500 m (r_{xy} na poziomie ok. 0,4).

Dla zawodników startujących od 20 do 23 roku życia istotne dla osiągnięcia wysokiego wyniku końcowego okazały się wyniki uzyskane w konkurencjach skoku w dal ($r_{xy} = 0,72$) oraz konkurencje biegu przez płotki ($r_{xy} = -0,69$) i biegu na 400 m ($r_{xy} = -0,68$). Na etapie mistrzostwa sportowego, a więc w wieku od 24 do 30 lat, na wynik końcowy największy wpływ miały konkurencje skoku w dal, biegu na dystansie 400 m oraz biegu na 100 m. Najmniejsze, ale istotne statystycznie, wartości współczynnika korelacji pomiędzy wynikiem sumarycznym a cząstkowym wyznaczono dla konkurencji rzutu kulą ($r_{xy} = 0,26$), skoku wzwyż oraz skoku o tyczce ($r_{xy} = 0,31$). Nieistotne statystycznie okazały się wyniki korelacji dla biegu na dystansie 1500 m oraz rzutu dyskiem.

Na ostatnim etapie kariery największy udział i znaczenie w wyniku końcowym wyznaczono dla konkurencji typowo szybkościowych, tzn. biegu na 100 m ($r_{xy} = -0,71$) oraz skoku w dal ($r_{xy} = 0,69$). Natomiast nieistotne okazały się wartości współczynników korelacji dla konkurencji pchnięcia kulą, rzutu dyskiem, skoku wzwyż oraz biegu na 1500 m.

Wyniki analizy korelacji liniowej Pearsona w drugiej grupie zawodników ze świata startujących w okresie 1985–2015 wykazały pewne różnice w znaczeniu poszczególnych składowych na różnych etapach ontogenezy sportowej. W początkowej fazie startów (etap 1) znaczny i istotny statystycznie udział konkurencji cząstkowych w wyniku końcowym został zaobserwowany dla konkurencji rzutowych oraz biegu przez płotki ($r_{xy} = 0,70$). Wśród trzech konkurencji rzutów najwyższą wartość współczynnika korelacji wyznaczono dla rzutu dyskiem ($r_{xy} = 0,81$), podczas gdy dla pchnięcia kulą oraz rzutu oszczepem r_{xy} wynosiło odpowiednio 0,70 i 0,64. Nieistotne dla końcowego rezultatu na tym etapie okazały się wyniki uzyskane w skoku w dal oraz biegu na 1500 m.

W okresie startów, które miały miejsce pomiędzy 20 a 23 rokiem życia, największy wpływ na końcowy rezultat miały również konkurencje rzutu dyskiem oraz pchnięcia kulą ($r_{xy} = 0,74$). Znaczenie pozostałych konkurencji, oprócz biegu na dystansie 1500 m (brak istotności), jest na niższym poziomie ($r_{xy} \approx 0,60$), ale również istotne statystycznie. Na trzecim etapie obserwuje się przeciętne wartości współczynników, spośród których największa wartość określona została na poziomie 0,59 dla konkurencji skoku o tyczce. Na ostatnim etapie rozwoju sportowego zawodnika istotny i największy wpływ na wynik końcowy wyznaczono dla konkurencji biegu na 400 m ($r_{xy} = -0,82$), biegu na dystansie 100 m

($r_{xy} = -0,80$), biegu przez płotki ($-0,79$) oraz skoku o tyczce ($r_{xy} = 0,71$). Najmniejszą wartość współczynnika korelacji odnotowano dla konkurencji rzutu dyskiem, która wyniosła 0,43. Konkurencje pchnięcia kulą, rzutu oszczepem oraz skoku wzwyż nie miały istotnego statystycznie udziału w sumarycznym wyniku zawodów.

Na podstawie zgromadzonych danych dotyczących przebiegu karier najlepszych polskich dziesięcioboistów startujących w latach 1985–2015 zbadano zależność wyniku końcowego od rezultatów osiągniętych w poszczególnych konkurencjach składowych w różnych okresach rozwoju ontogenezy zawodników. Analizując wyniki w tabelach 30–31, gdzie umieszczono wartości współczynników korelacji obliczone na podstawie wyników metrycznych i punktowych, zaobserwowano, że na pierwszym etapie kariery na sumaryczny rezultat końcowy w znaczący sposób wpływają konkurencje biegu na 400 m ($r_{xy} = 0,79$), biegu na 100 m oraz skoku o tyczce (r_{xy} na takim samym poziomie równym 0,78). Pozostałe konkurencje w mniejszym stopniu, ale istotnie kształtują wynik końcowy, co wyraża się korelacją na poziomie powyżej 0,63. Bez istotnego statystycznie związku z ostatecznym rezultatem w zawodach, na tak wczesnym etapie, ma konkurencja biegu na 1500 m.

W okresie startów pomiędzy 20 a 23 rokiem życia na dobry rezultat największy wpływ mają starty w konkurencjach biegów sprinterskich (odpowiednio: 110 m, 400 m oraz 100 m). Na najniższym poziomie, ale istotnym statystycznie, wyznaczono r_{xy} dla rzutu dyskiem. Na tym etapie kariery wśród polskich dziesięcioboistów na znaczeniu straciła konkurencja skoku wzwyż, której związek z wynikiem końcowym okazał się nieistotny. W trzecim przyjętym etapie, w którym zawodnicy uzyskiwali optymalną formę i ustanawiali rekordy życiowe na najwyższym poziomie, znaczenie miały konkurencje szybkościowe a zarazem techniczne. Najwyższe współczynniki korelacji wyznaczono dla biegów na dystansie 400 m i 110 m ppł. oraz dla skoku w dal.

Tabela 30. Analiza wpływu (r_{xy}) poszczególnych konkurencji składowych na wynik końcowy dziesięcioboju z uwzględnieniem wartości metrycznych w grupie polskich zawodników w okresie 1985–2015

ETAP	N	100 m	w dal	kula	wzwyż	400 m	110 m	dysk	tyczka	oszczep	1500 m
I	43	-0,78**	0,70**	0,63**	0,64**	-0,79**	-0,68**	0,67**	0,78**	0,75**	-0,22
II	82	-0,64**	0,59**	0,55**	0,20	-0,65**	-0,67**	0,29**	0,44**	0,54**	-0,45**
III	67	-0,45**	0,66**	0,61**	0,54**	-0,67**	-0,67**	0,43**	0,55**	0,07	-0,45**
IV	0	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

*istotność statystyczna na poziomie: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$*

Tabela 31. Analiza wpływu (r_{xy}) poszczególnych konkurencji składowych na wynik końcowy dziesięcioboju z uwzględnieniem przelicznika punktowego w grupie polskich zawodników w okresie 1985–2015 (1–25)

ETAP	N	100 m	w dal	kula	wzwyż	400 m	110 m	dysk	tyczka	oszczep	1500 m
I	43	0,78**	0,70**	0,63**	0,64**	0,79**	0,68**	0,66**	0,78**	0,75**	0,23
II	82	0,63**	0,59**	0,55**	0,20	0,65**	0,67**	0,29**	0,45**	0,54**	0,44**
III	67	0,45**	0,66**	0,60**	0,54**	0,68**	0,67**	0,43**	0,56**	0,07	0,46**
IV	0	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

*istotność statystyczna na poziomie: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$*

Z praktycznego punktu widzenia dla procesu treningowego dziesięcioboistów ważne może okazać się poszukiwanie związków pomiędzy konkurencjami składowymi. Zależności te mogą być wykorzystywane do łączenia jednostek treningowych na różnych etapach ontogenezy sportowej. Na podstawie analizy wartości współczynników korelacji pomiędzy poszczególnymi składowymi dziesięcioboju wśród najlepszych zawodników grupy światowej startujących w okresie 1985–2015 (tabela 32) w wieku juniora największe związki zaobserwowano pomiędzy konkurencją pchnięcia kulą a konkurencjami biegu przez płotki ($r_{xy} = -0,71$) i rzutu dyskiem ($r_{xy} = 0,65$) oraz pomiędzy konkurencją skoku w dal i biegu przez płotki ($r_{xy} = -0,65$).

Na drugim etapie, kiedy zawodnicy z badanej grupy mieli od 20 do 23 lat, istotne i znaczące okazały się zależności pomiędzy biegami na dystansie 110 m przez płotki i 400 m ($r_{xy} = 0,64$) oraz pchnięciem kulą i rzutem dyskiem ($r_{xy} = 0,63$). Nie bez znaczenia mogą się okazać korelacje pomiędzy biegiem sprinterskim na dystansie 100 m z innymi konkurencjami bazującymi na przygotowaniu szybkościowym, jak np. skok w dal lub bieg na 400 m, który również wykazuje związek ze skokiem w dal ($r_{xy} = -0,45$).

Na etapie mistrzostwa zaobserwowano istotne statystycznie związki pomiędzy wszystkimi konkurencjami biegowymi, spośród których najwyższe i na podobnym poziomie wartości współczynników określono dla dystansów 100 m, 400 m oraz 110 m przez płotki ($r_{xy} = 0,5$). Stwierdzono również, że przygotowanie biegowe zawodnika ma wpływ na wyniki uzyskiwane w skoku w dal. Najsilniej korelują ze sobą konkurencje rzutu dyskiem oraz pchnięcia kulą, gdzie wartość r_{xy} była na poziomie 0,60. Na ostatnim etapie rozwoju kariery liczne i gdzieś silniejsze związki z innymi konkurencjami wykazuje zmienna 100 m, która koreluje z biegiem na 400 m ($r_{xy} = 0,71$), skokiem o tyczce ($r_{xy} = -0,68$) oraz biegiem przez płotki ($r_{xy} = 0,46$) wraz ze skokiem w dal ($r_{xy} = -0,43$).

Tabela 32. Zależności pomiędzy konkurencjami w grupie najlepszych 25 zawodników ze świata startujących w latach 1985–2015 (1–25)

ETAP	ZMIENNA	100 m	w dal	kula	wzwyż	400 m	110 m	dysk	tyczka	oszczep	1500 m
I	100m	----	-0,22	-0,28	0,09	0,36*	0,52**	-0,41*	-0,09	-0,04	-0,09
	w dal	-0,22	----	0,62**	0,40*	-0,57**	-0,65**	0,42*	0,26	0,43*	-0,27
	kula	-0,28	0,62**	----	0,09	-0,56**	-0,71**	0,65**	0,01	0,33	-0,35*
	wzwyż	0,09	0,40*	0,09	----	-0,08	-0,25	0,05	0,01	0,49**	-0,22
	400m	0,36*	-0,57**	-0,56**	-0,08	----	0,61**	-0,58**	-0,34	-0,27	0,36*
	110m	0,52**	-0,65**	-0,71**	-0,25	0,61**	----	-0,60**	-0,24	-0,38*	0,11
	dysk	-0,41*	0,42*	0,65**	0,05	-0,58**	-0,60**	----	0,34	0,21	-0,14
	tyczka	-0,09	0,26	0,01	0,01	-0,34	-0,24	0,34	----	-0,10	0,03
	oszczep	-0,04	0,43*	0,33	0,49**	-0,27	-0,38*	0,21	-0,10	----	-0,59**
	1500m	-0,09	-0,27	-0,35*	-0,22	0,36*	0,11	-0,14	0,03	-0,59**	----
II	100m	----	-0,52**	-0,16	0,01	0,44**	0,43**	-0,27*	-0,16	0,00	-0,09
	w dal	-0,52**	----	0,27*	0,18	-0,45**	-0,46**	0,15	0,53**	0,20	-0,26*
	kula	-0,16	0,27*	----	0,33**	-0,26*	-0,26*	0,63**	0,15	0,26*	0,02
	wzwyż	0,01	0,18	0,33**	----	-0,17	-0,23*	0,25*	0,23*	0,31**	-0,22*
	400m	0,44**	-0,45**	-0,26*	-0,17	----	0,64**	-0,28*	-0,22*	-0,14	0,46**
	110m	0,43**	-0,46**	-0,26*	-0,23*	0,64**	----	-0,32**	-0,22	-0,17	0,33**
	dysk	-0,27*	0,15	0,63**	0,25*	-0,28*	-0,32**	----	0,10	0,19	0,09
	tyczka	-0,16	0,53**	0,15	0,23*	-0,22*	-0,22	0,10	----	0,19	-0,24*
	oszczep	0,00	0,20	0,26*	0,31**	-0,14	-0,17	0,19	0,19	----	-0,21
	1500m	-0,09	-0,26*	0,02	-0,22*	0,46**	0,33**	0,09	-0,24*	-0,21	----
III	100m	----	-0,51**	-0,08	-0,01	0,54**	0,53**	0,03	-0,04	-0,07	-0,23**
	w dal	-0,51**	----	-0,06	0,17	-0,40**	-0,19*	-0,25**	0,24**	0,21*	-0,05
	kula	-0,08	-0,06	----	-0,03	-0,07	-0,09	0,60**	-0,18*	-0,02	0,34**
	wzwyż	-0,01	0,17	-0,03	----	0,08	-0,09	0,03	-0,08	0,09	0,02
	400m	0,54**	-0,40**	-0,07	0,08	----	0,36**	0,12	-0,20*	-0,09	0,19*
	110m	0,53**	-0,19*	-0,09	-0,09	0,36**	----	-0,10	----	-0,01	-0,02
	dysk	0,03	-0,25**	0,60**	0,03	0,12	-0,10	----	-0,24**	-0,06	0,36**
	tyczka	-0,04	0,24**	-0,18*	-0,08	-0,20*	0,02	-0,24**	----	0,04	-0,03
	oszczep	-0,07	0,21*	-0,02	0,09	-0,09	-0,01	-0,06	0,04	----	0,02
	1500m	-0,23**	-0,05	0,34**	0,02	0,19*	-0,02	0,36**	-0,03	0,02	----
IV	100m	----	-0,43**	0,07	-0,09	0,71**	0,46**	-0,12	-0,68**	0,08	0,11
	w dal	-0,43**	----	0,01	0,39*	-0,28	-0,23	-0,13	0,24	0,31	-0,08
	kula	0,07	0,01	----	0,06	0,33*	-0,10	0,28	-0,41*	0,01	0,46**
	wzwyż	-0,09	0,39*	0,06	----	-0,16	-0,25	0,24	0,05	-0,14	0,33*
	400m	0,71**	-0,28	0,33*	-0,16	----	0,34*	0,10	-0,61**	0,20	0,25
	110m	0,46**	-0,23	-0,10	-0,25	0,34*	----	-0,46**	-0,29	0,12	0,02
	dysk	-0,12	-0,13	0,28	0,24	0,10	-0,46**	----	0,05	-0,14	0,36*
	tyczka	-0,68**	0,24	-0,41*	0,05	-0,61**	-0,29	0,05	----	-0,08	-0,21
	oszczep	0,08	0,31	0,01	-0,14	0,20	0,12	-0,14	-0,08	----	-0,29
	1500m	0,11	-0,08	0,46**	0,33*	0,25	0,02	0,36*	-0,21	-0,29	----

istotność statystyczna na poziomie: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Związki pomiędzy konkurencjami w drugiej grupie zawodników ze świata startujących w rozpatrywanym okresie (1985–2015) prezentuje tabela 33. W początkowej fazie kariery (do 19 roku życia) najsilniej korelują ze sobą konkurencje rzutowe, w szczególności pchnięcie kulą z rzutem dyskiem ($r_{xy} = 0,83$) oraz konkurencje biegowe. Przygotowanie szybkościowe wykorzystywane na dystansie 100 m oddziałuje na dystans 400 m ($r_{xy} = 0,64$) i bieg przez płotki ($r_{xy} = 0,43$), z kolei dystans 400 m powiązany jest na tym etapie z dystansem 1500 m.

Na drugim etapie najliczniej, bo aż z wszystkimi konkurencjami, istotnie statystycznie koreluje konkurencja biegu przez płotki, a największe wartości korelacji zaobserwowano dla konkurencji pchnięcia kulą i rzutu dyskiem ($r_{xy} = 0,71$) oraz biegu na dystansie 100 m z biegiem przez płotki i 400 metrami. Wśród zawodników będących w wieku od 24 do 30 lat

najwyższe wartości korelacji wyznaczono dla pchnięcia kulą, rzutu dyskiem ($r_{xy} = 0,66$) i biegu na 100 m z biegiem przez płotki ($r_{xy} = 0,60$). Zaobserwowano również istotne związki dystansu 400 m z innymi konkurencjami biegowymi. Najmniejszy wpływ na inne składowe dziesięcioboju ma rzut oszczepem.

W końcowym okresie kariery zawodniczej uwidocznił się w badanej grupie duży związek pomiędzy wynikami uzyskiwanymi w konkurencji biegu na 100 m z takimi konkurencjami, jak skok w dal ($r_{xy} = -0,73$), bieg na 400 m ($r_{xy} = 0,70$), bieg przez płotki ($r_{xy} = 0,62$) oraz skok o tyczce ($r_{xy} = -0,56$). Istotnie statystycznie powiązania z innymi konkurencjami wykazuje również bieg na dystansie 400 m, który koreluje z biegiem przez płotki, biegiem na 1500 m oraz skokiem o tyczce ($r_{xy} = -0,65$).

Tabela 33. Zależności pomiędzy konkurencjami w drugiej grupie zawodników ze świata startujących w latach 1985–2015 (25–50)

ETAP	ZMIENNA	100 m	w dal	kula	wzwyż	400 m	110 m	dysk	tyczka	oszczep	1500 m
I	100 m	-----	-0,30	-0,23	-0,35	0,64**	0,43*	-0,43*	-0,13	-0,28	0,01
	w dal	-0,30	-----	-0,21	0,36*	-0,46**	-0,01	-0,13	0,27	-0,14	-0,22
	kula	-0,23	-0,21	-----	0,15	-0,19	-0,45**	0,83**	0,37*	0,64**	0,05
	wzwyż	-0,35	0,36*	0,15	-----	-0,25	-0,29	0,34	0,11	0,13	-0,12
	400 m	0,64**	-0,46**	-0,19	-0,25	-----	0,45**	-0,34	-0,31	-0,09	0,56**
	110 m	0,43*	-0,01	-0,45**	-0,29	0,45**	-----	-0,45**	-0,41*	-0,49**	0,15
	dysk	-0,43*	-0,13	0,83**	0,34	-0,34	-0,45**	-----	0,42*	0,57**	-0,07
	tyczka	-0,13	0,27	0,37*	0,11	-0,31	-0,41*	0,42*	-----	0,43*	-0,29
	oszczep	-0,28	-0,14	0,64**	0,13	-0,09	-0,49**	0,57**	0,43*	-----	0,24
	1500 m	0,01	-0,22	0,05	-0,12	0,56**	0,15	-0,07	-0,29	0,24	-----
II	100 m	-----	-0,34**	-0,48**	-0,17	0,52**	0,63**	-0,40**	-0,08	-0,39**	-0,30**
	w dal	-0,34**	-----	0,33**	0,43**	-0,11	-0,35**	0,20	-0,04	0,07	0,21
	kula	-0,48**	0,33**	-----	0,36**	-0,31**	-0,41**	0,71**	0,21	0,38**	0,18
	wzwyż	-0,17	0,43**	0,36**	-----	-0,20	-0,24*	0,36**	0,22*	0,13	-0,07
	400 m	0,52**	-0,11	-0,31**	-0,20	-----	0,36**	-0,26*	0,00	-0,19	0,30**
	110 m	0,63**	-0,35**	-0,41**	-0,24	0,36**	-----	-0,28**	-0,25*	-0,44**	-0,34**
	dysk	-0,40**	0,20	0,71**	0,36**	-0,26*	-0,28**	-----	0,37**	0,33**	0,05
	tyczka	-0,08	-0,04	0,21	0,22*	0,00	-0,25*	0,37**	-----	0,39**	-0,14
	oszczep	-0,39**	0,07	0,38**	0,13	-0,19	-0,44**	0,33**	0,39**	-----	0,04
	1500 m	-0,30**	0,21	0,18	-0,07	0,30**	-0,34**	0,05	-0,14	0,04	-----
III	100 m	-----	-0,29**	-0,15	-0,03	0,44**	0,60**	-0,11	-0,21*	0,08	-0,15
	w dal	-0,29**	-----	-0,05	0,24**	-0,25**	-0,23**	0,00	0,23**	-0,22*	0,03
	kula	-0,15	-0,05	-----	0,29**	0,21*	0,06	0,66**	-0,08	0,18*	0,26**
	wzwyż	-0,03	0,24**	0,29**	-----	0,07	0,11	0,21*	0,26**	-0,07	0,00
	400 m	0,44**	-0,25**	0,21*	0,07	-----	0,45**	0,20*	-0,22*	0,10	0,45**
	110 m	0,60**	-0,23**	0,06	0,11	0,45**	-----	0,17*	-0,36**	0,00	0,02
	dysk	-0,11	0,00	0,66**	0,21*	0,20*	0,17*	-----	-0,06	0,06	0,23**
	tyczka	-0,21*	0,23**	-0,08	0,26**	-0,22*	-0,36**	-0,06	-----	0,07	-0,12
	oszczep	0,08	-0,22*	0,18*	-0,07	0,10	0,00	0,06	0,07	-----	-0,04
	1500 m	-0,15	0,03	0,26**	0,00	0,45**	0,02	0,23**	-0,12	-0,04	-----
IV	100 m	-----	-0,73**	-0,35	-0,21	0,70**	0,62**	-0,37*	-0,56**	0,12	-0,03
	w dal	-0,73**	-----	0,01	-0,02	-0,45*	-0,42*	0,05	0,50**	0,11	0,20
	kula	-0,35	0,01	-----	0,50**	-0,07	-0,22	0,54**	-0,15	-0,34	0,04
	wzwyż	-0,21	-0,02	0,50**	-----	-0,07	-0,11	0,30	0,08	-0,34	0,04
	400 m	0,70**	-0,45*	-0,07	-0,07	-----	0,59**	-0,19	-0,65**	-0,17	0,41*
	110 m	0,62**	-0,42*	-0,22	-0,11	0,59**	-----	-0,14	-0,59**	-0,07	0,35
	dysk	-0,37*	0,05	0,54**	0,30	-0,19	-0,14	-----	0,07	-0,25	-0,23
	tyczka	-0,56**	0,50**	-0,15	0,08	-0,65**	-0,59**	0,07	-----	-0,08	-0,25
	oszczep	0,12	0,11	-0,34	-0,34	-0,17	-0,07	-0,25	-0,08	-----	-0,40*
	1500 m	-0,03	0,20	0,04	0,04	0,41*	0,35	-0,23	-0,25	-0,40*	-----

istotność statystyczna na poziomie: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Tabela 34. Zależności pomiędzy konkurencjami w grupie najlepszych polskich zawodników startujących w latach 1985–2015

ETAP	ZMIENNA	100 m	w dal	kula	wzwyż	400 m	110 m	dysk	tyczka	oszczep	1500 m
I	100 m	----	-0,72**	-0,32*	-0,30	0,71**	0,56**	-0,42**	-0,59**	-0,57**	0,15
	w dal	-0,72**	----	0,11	0,43**	-0,73**	-0,32*	0,24	0,54**	0,44**	-0,16
	kula	-0,32*	0,11	----	0,42**	-0,23	-0,58**	0,75**	0,37*	0,62**	0,20
	wzwyż	-0,30	0,43**	0,42**	----	-0,49**	-0,16	0,34*	0,46**	0,52**	-0,09
	400 m	0,71**	-0,73**	-0,23	-0,49**	----	0,46**	-0,24	-0,61**	-0,44**	0,50**
	110 m	0,56**	-0,32*	-0,58**	-0,16	0,46**	----	-0,60**	-0,41**	-0,57**	0,00
	dysk	-0,42**	0,24	0,75**	0,34*	-0,24	-0,60**	----	0,35*	0,61**	0,11
	tyczka	-0,59**	0,54**	0,37*	0,46**	-0,61**	-0,41**	0,35*	----	0,42**	-0,13
	oszczep	-0,57**	0,44**	0,62**	0,52**	-0,44**	-0,57**	0,61**	0,42**	----	0,08
	1500 m	0,15	-0,16	0,20	-0,09	0,50*	0,00	0,11	-0,13	0,08	----
II	100 m	----	-0,49**	-0,36**	0,06	0,53**	0,31**	-0,13	-0,05	-0,40**	0,28*
	w dal	-0,49**	----	0,17	0,31**	-0,26*	-0,15	0,03	0,17	0,35**	-0,15
	kula	-0,36**	0,17	----	-0,11	-0,13	-0,25*	0,61**	0,09	0,34**	-0,14
	wzwyż	0,06	0,31**	-0,11	----	0,02	-0,11	-0,25*	0,11	0,07	0,21
	400 m	0,53**	-0,26*	-0,13	0,02	----	0,52**	0,19	-0,09	-0,34**	0,60**
	110 m	0,31**	-0,15	-0,25*	-0,11	0,52**	----	-0,14	-0,47**	-0,16	0,13
	dysk	-0,13	0,03	0,61**	-0,25*	0,19	-0,14	----	0,11	0,07	0,01
	tyczka	-0,05	0,17	0,09	0,11	-0,09	-0,47**	0,11	----	-0,17	0,11
	oszczep	-0,40**	0,35**	0,34**	0,07	-0,34**	-0,16	0,07	-0,17	----	-0,27*
	1500 m	0,28*	-0,15	-0,14	0,21	0,60**	0,13	0,01	0,11	-0,27*	----
III	100 m	----	-0,19	-0,37**	-0,05	0,54**	0,26*	-0,06	-0,15	0,00	0,10
	w dal	-0,19	----	0,50**	0,38**	-0,37**	-0,46**	0,16	0,27*	0,06	-0,13
	kula	-0,37**	0,50**	----	0,30*	-0,28*	-0,29*	0,42**	0,06	0,23	-0,08
	wzwyż	-0,05	0,38**	0,30*	----	-0,32**	-0,24*	-0,07	0,26*	0,08	-0,04
	400 m	0,54**	-0,37**	-0,28*	-0,32**	----	0,38**	0,09	-0,36**	0,25*	0,56**
	110 m	0,26*	-0,46**	-0,29*	-0,24*	0,38**	----	-0,42**	-0,48**	0,15	0,14
	dysk	-0,06	0,16	0,42**	-0,07	0,09	-0,42**	----	0,03	0,31*	-0,06
	tyczka	-0,15	0,27*	0,06	0,26*	-0,36**	-0,48**	0,03	----	-0,37**	-0,19
	oszczep	0,00	0,06	0,23	0,08	0,25*	0,15	0,31*	-0,37**	----	0,26*
	1500 m	0,10	-0,13	-0,08	-0,04	0,56**	0,14	-0,06	-0,19	0,26*	----
IV	100 m	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	w dal	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	kula	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	wzwyż	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	400 m	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	110 m	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	dysk	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	tyczka	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	oszczep	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	1500 m	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

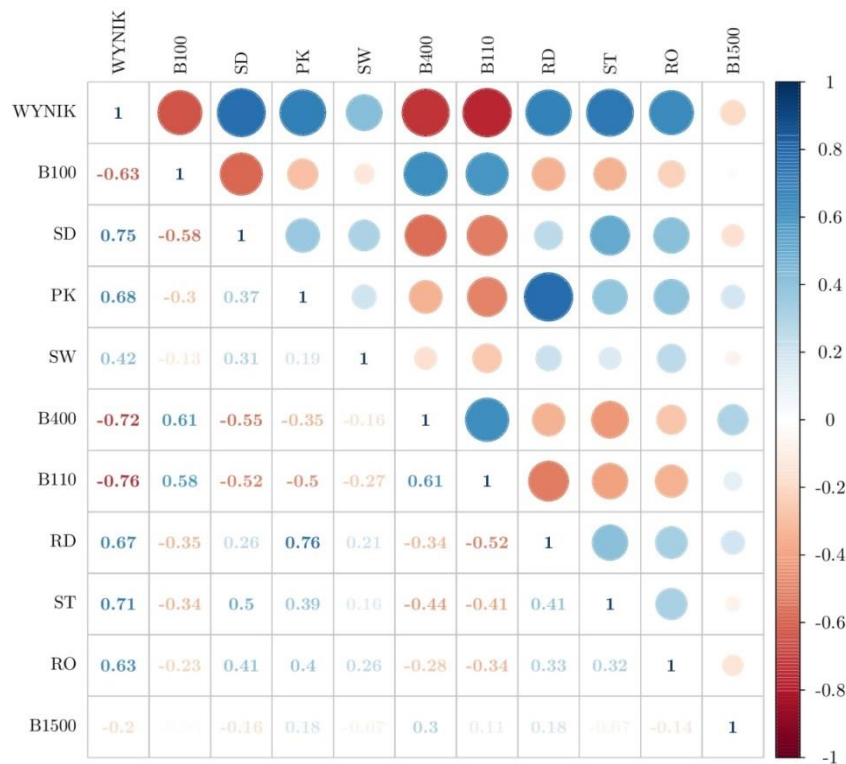
istotność statystyczna na poziomie: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

W polskiej grupie zawodników startujących w latach 1985–2015 (tabela 34) na etapie juniorskim, spośród licznych i istotnych powiązań, najwyższe wartości korelacji zaobserwowano dla konkurencji rzutu dyskiem oraz pchnięcia kulą ($r_{xy} = 0,75$), biegu na dystansie 100 m wraz ze skokiem w dal ($r_{xy} = -0,72$) i dystansem 400 m ($r_{xy} = 0,71$). Znaczący okazuje się również związek pomiędzy biegiem na 400 m i skokiem w dal ($r_{xy} = 0,73$). Wyniki analizy korelacji w grupie dziesięcioboistów w wieku od 20 do 23 roku życia pokazały, że największy związek pomiędzy konkurencjami dotyczył pchnięcia kulą i rzutu dyskiem ($r_{xy} = 0,61$), a także biegu na 100 m oraz 400 m ($r_{xy} = 0,53$). Związki na zbliżonym poziomie określono również dla konkurencji biegu przez płotki z dystansem 400 m. Na etapie mistrzostwa sportowego w grupie polskiej najsilniejsze związki pomiędzy

konkurencjami wyznaczono dla biegu na 400 i 1500 m ($r_{xy} = 0,56$) oraz biegiem na 100 m ($r_{xy} = 0,54$). Ze względu na krótki przebieg karier polskich dziesięcioboistów w okresie 1985–2015 nie można było przyporządkować danych do czwartego etapu rozwoju kariery.

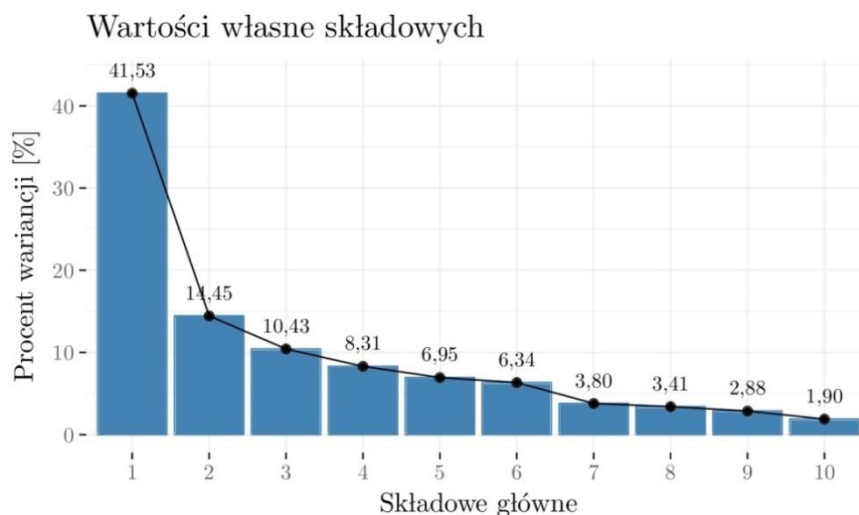
3.6. Analizy wielowymiarowe w ocenie struktury lekkoatletycznego wieloboju mężczyzn

Zebrany materiał badawczy, dotyczący przebiegu karier najlepszych dziesięcioboistów z Polski i świata w trzech przyjętych okresach historii wieloboju męskiego, poddano analizie PCA. Jej celem było zdefiniowanie nowych składowych głównych opisujących wariancję zgromadzonych danych oraz zbadanie struktury lekkoatletycznego dziesięcioboju w nowej przestrzeni określonej przez uwzględnione w analizie składowe. Dla wszystkich grup zawodniczych wyznaczono zależności (korelację liniową Pearsona) pomiędzy zmiennymi reprezentującymi wyniki cząstkowe opisane w rozdziale 3.4 lub zobrazowane na rycinach (ryciny 21, 29, 37, 45, 53, 65, 70) oraz wartości własne i strukturę nowopowstałych składowych głównych. Dodatkowo zinterpretowano zależności pomiędzy samymi zmiennymi i wynikiem końcowym w przestrzeniach opisanych przez nowoutworzone składowe główne. Na podstawie uzyskanych wyników, które opisano poniżej, dokonano także próby zdefiniowania poszczególnych składowych głównych.



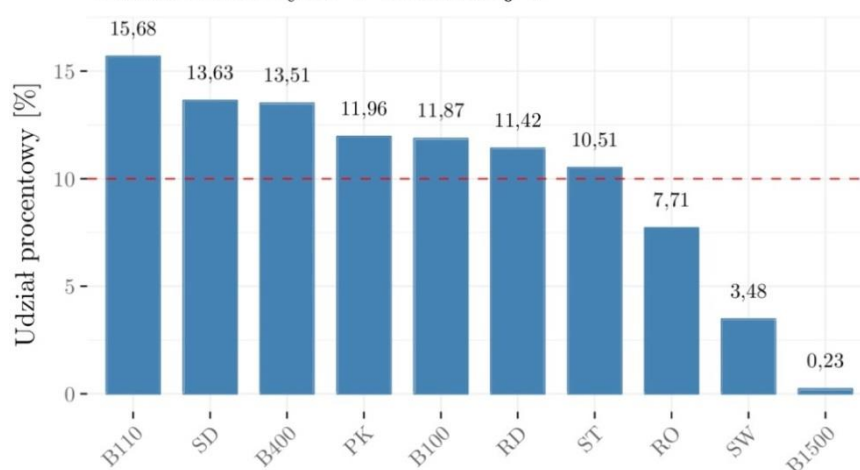
Rycina 21. Wartości współczynników korelacji liniowej Pearsona dla poszczególnych konkurencji składowych oraz wyniku w grupie najlepszych zawodników świata (1985–2015)

Wynikiem zastosowanej metody PCA dla danych opisujących przebieg karier najlepszych dziesięciooboistów ze świata startujących w latach 1985–2015 było wyznaczenie dziesięciu nowych składowych głównych. Na podstawie otrzymanych wartości własnych składowych głównych (rycina 22, tabela 41 – aneks) oraz przyjętego kryterium Kaisera do dalszej analizy oraz interpretacji, wybrano pierwsze trzy składowe główne opisujące w sumie 66,41% zmienności danych oryginalnych. Największy udział w całkowitej wariancji ma pierwsza składowa główna (41,53%), dla której znaczące w tworzeniu jej struktury było siedem spośród dziesięciu zmiennych (rycina 23). Największy wkład w jej budowę mają zmienne biegu na 110 m ppł. (B110), skoku w dal (SD), biegu na 400 m (B400), pchnięcia kulą (PK), biegu na 100 m (B100), rzutu dyskiem (RD) i skoku o tyczce (ST). Pozostałe zmienne, będące poniżej średniej wartości estymowanej ze względu na małe znaczenie w budowie pierwszej składowej głównej, zostały pominięte w dalszej interpretacji. Z kolei na rycinie 24 zobrazowano udział zmiennych tworzących drugą składową główną, która opisuje 14,45% całkowitej wariancji danych dotyczących badanej grupy. Największe znaczenie dla struktury tej składowej miały trzy zmienne dotyczące rezultatów uzyskiwanych w konkurencjach biegu na 1500 m (B1500), rzutu dyskiem (RD) oraz pchnięcia kulą (PK). Na strukturę trzeciej składowej największy wpływ miały zmienne skoku wzwyż, rzutu oszczepem (RO) i biegu na 100 m (B100).



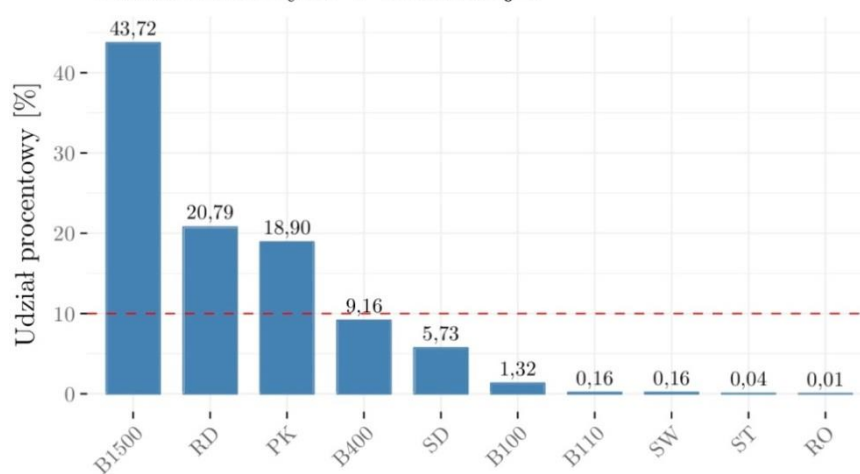
Rycina 22. Wartości własne składowych głównych – interpretacja graficzna (1985–2015)

Udział zmiennych w składowej 1



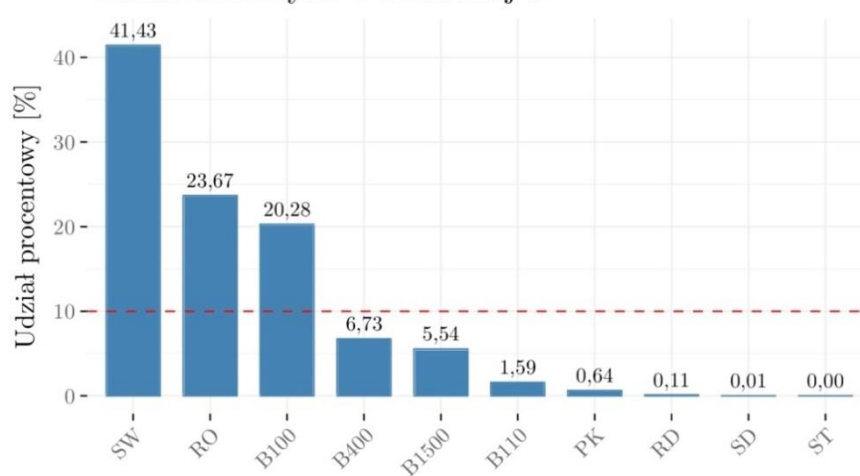
Rycina 23. Udział zmiennych w pierwszej składowej głównej (1985–2015)

Udział zmiennych w składowej 2



Rycina 24. Udział zmiennych w drugiej składowej głównej (1985–2015)

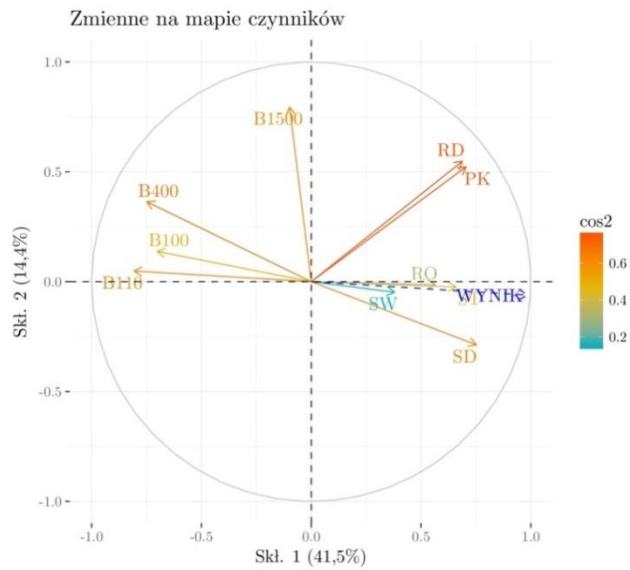
Udział zmiennych w składowej 3



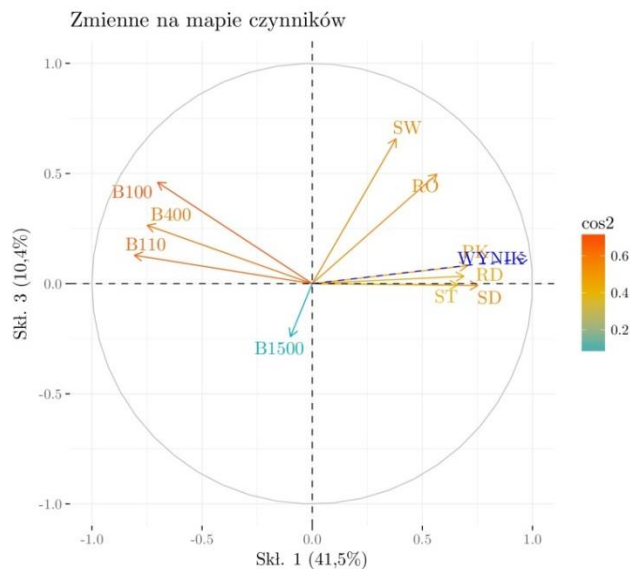
Rycina 25. Udział zmiennych w trzeciej składowej głównej (1985–2015)

Strukturalna zależność pomiędzy zmiennymi oraz składowymi głównymi możliwa jest do zobrazowania na mapie czynników. Mapa czynników, wykorzystywana do graficznej prezentacji wyników na płaszczyźnie opisanej przez utworzone składowe główne, ukazuje siłę i kierunki korelacji pomiędzy zmiennymi oraz jakość ich reprezentacji, a także wspomaga zdefiniowanie (określenie, nazwanie) składowych głównych. Zmienne wykorzystane w analizie PCA zostały zobrazowane przy użyciu wektorów mających: początek w punkcie (0,0), określoną długość i kierunek oraz kolor świadczący o jakości ich reprezentacji. Rzut prostokątny wektora na odpowiednią oś płaszczyzny wskazuje na udział danej zmiennej w tworzeniu rozpatrywanej składowej, a miary kątów pomiędzy poszczególnymi wektorami określają siłę i kierunek zależności pomiędzy zmiennymi. Miara kąta w przedziale $<0^\circ, 90^\circ$ świadczy o dodatniej korelacji, kąt 90° oznacza brak zależności, a kąt o mierze $(90^\circ, 180^\circ)$ wskazuje na ujemny związek pomiędzy zmiennymi. Jeśli wartość kąta jest zbliżona do 0° albo 180° mówimy wówczas o (dodatniej albo ujemnej) dużej współzależności pomiędzy analizowanymi zmiennymi.

Badając strukturę składowych głównych oraz zależności pomiędzy zmiennymi w przestrzeni opisanej przez pierwszą oraz drugą składową, które zobrazowano na rycinie 26, zaobserwowano bardzo silny dodatni związek pomiędzy zmiennymi rzutu dyskiem (RD) i pchnięcia kulą (PK), mającymi również znaczący udział w obliczeniu wariancji obu składowych. Na wykresie widoczne są również istotne dodatnie zależności pomiędzy trzema konkurencjami biegowymi na dystansach sprinterskich 110, 100 i 400 metrach, a także silne ujemne zależności pomiędzy wspomnianymi konkurencjami biegowymi z konkurencją skoku w dal. Pomimo dużego udziału zmiennej B1500, przechowującej rezultaty osiągnięte przez dziesięcioboistów w biegu na 1500 m, w tworzeniu drugiej składowej głównej, stwierdzono, że koreluje ona bardzo słabo z pozostałymi zmiennymi. Rzuty wektorów na oś rzędnych i odciętych potwierdzają wcześniej opisany udział poszczególnych zmiennych w tworzeniu pierwszej i drugiej składowej głównej.



Rycina 26. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez pierwszą i drugą składową główną (1985–2015)

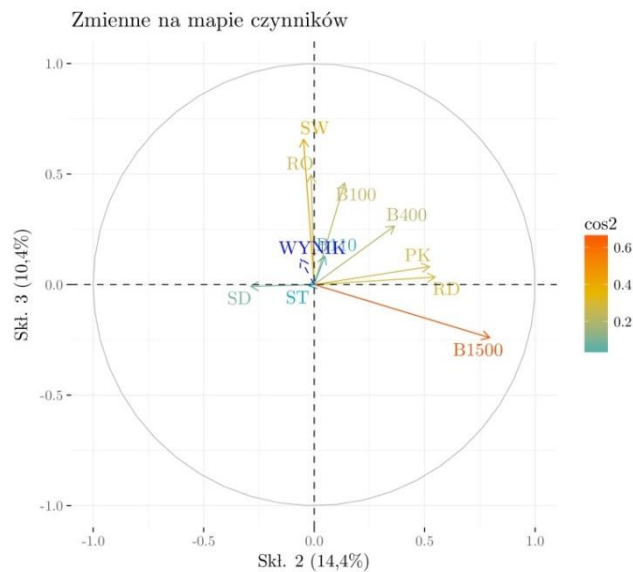


Rycina 27. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez pierwszą i trzecią składową główną (1985–2015)

Na podstawie ryciny 27 przedstawiającej projekcję zmiennych na mapę czynników tworzoną przez pierwszą i trzecią składową główną, które w sumie opisują 51,9% całkowitej zmienności materiału badawczego dot. najlepszych dziesięcioboistów świata startujących w okresie 1985–2015, stwierdzono, że niemal wszystkie zmienne wykazują znaczące powiązania ze sobą. Największe dodatnie zależności obserwuje się, podobnie jak wyżej, dla zmiennych przypisanych do konkurencji biegowych na dystansach 110, 400 i 100 metrów, które nie wykazują silnych powiązań z ostatnią konkurencją biegową – 1500 m, a także dla konkurencji skoków w dal i o tyczce, a także konkurencji rzutu dyskiem oraz pchnięcia kulą.

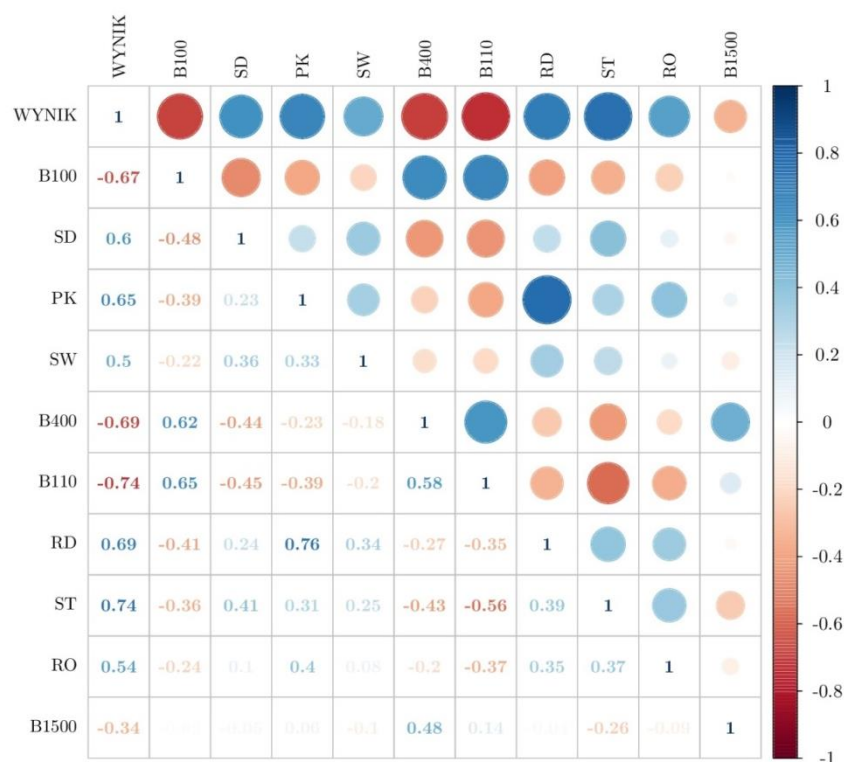
Dodatkowo, pomiędzy trzema wspomnianymi biegami a skokami i rzutami, obserwuje się silne ujemne zależności.

Analizując mapę czynników opisaną przez drugą i trzecią składową główną (rycina 28), pomimo słabej reprezentacji większości zmiennych, zaobserwowano dodatnie i silne związki pomiędzy zmiennymi charakteryzującymi konkurencje pchnięcia kulą (PK) i rzutu dyskiem (RD), rzutu oszczepem (RO) i skoku wzwyż (SW), a także biegów na dystansach 100 i 400 m (B100 i B400).



Rycina 28. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez drugą i trzecią składową główną (1985–2015)

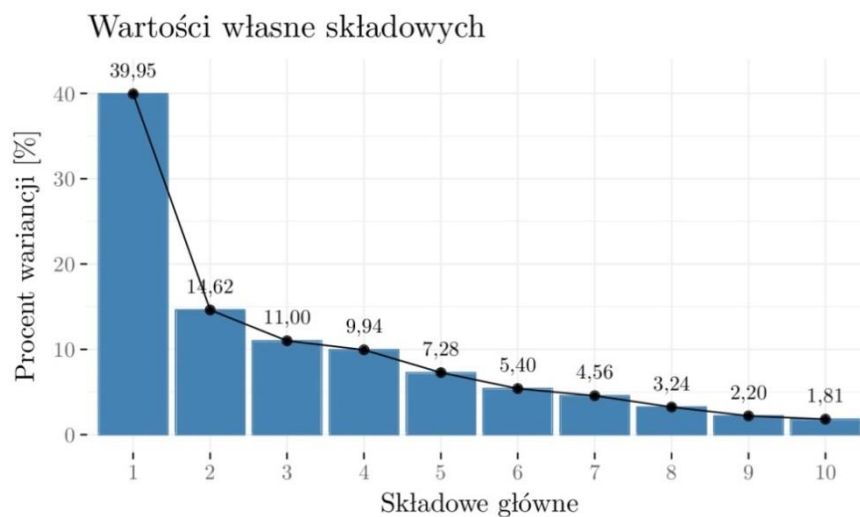
W drugiej grupie zawodników ze świata zdobywających swoje rekordy życiowe w okresie 1985–2015 wyznaczone wartości korelacji zostały zobrazowane na rycinie 29. Rozpatrując cały okres rozwoju kariery sportowej analizowanej grupy, największe związki pomiędzy wynikami metrycznymi osiąganymi we wszystkich dziesięciu konkurencjach zaobserwowano dla pchnięcia kulą oraz rzutu dyskiem ($r_{xy} = 0,76$), a także konkurencją biegu na dystansie 100 m z biegiem kończącym pierwszy dzień zawodów oraz biegiem rozpoczynającym rywalizację w dniu następnym, a zatem z biegami na dystansie 400 m ($r_{xy} = 0,62$) oraz 110 m przez płotki ($r_{xy} = 0,65$). Najmniej znaczące związki z innymi konkurencjami wyznaczono dla biegu na dystansie 1500 m, gdzie czasy uzyskiwane w tej konkurencji mają powiązanie (na poziomie $r_{xy} = 0,48$) jedynie z wynikami i poziomem przygotowania biegowego dla dystansu 400 m.



Rycina 29. Wartości współczynników korelacji liniowej Pearsona dla poszczególnych konkurencji składowych oraz wyniku w drugiej grupie zawodników świata (1985–2015)

Analizując wartości własne (tabela 43 – aneks) oraz procentowy udział całkowitej zmienności dla składowych głównych (rycina 30) w drugiej grupie dziesięcioboistów ze świata z okresu 1985–2015, w dalszej interpretacji uwzględniono trzy pierwsze składowe główne opisujące w sumie ponad 65% zmienności. Największą część wariacji danych opisuje pierwsza składowa główna (39,95% z całości), w wyznaczeniu której znaczących okazało się sześć zmiennych (rycina 31). Największy udział w obliczeniu pierwszej składowej (tabela 44 – aneks) miało przygotowanie biegowe zawodników w konkurencjach biegu przez płotki, biegu na 100 m oraz biegu na 400 m. Następnie istotne dla struktury tej składowej były zmienne skoku o tyczce, rzutu dyskiem oraz pchnięcia kulą. Natomiast w drugiej składowej głównej (14,62% całkowitej wariacji) zmienne mające znaczący udział w jej tworzeniu to odpowiednio: bieg na dystansie 1500 m (B1500 – 28,50%), pchnięcie kulą (PK-23,80%), bieg na 400 m (B400 – 18,70%) oraz rzut dyskiem (RD-17,01%).

Największy udział zmiennych tworzących trzecią składową wyznaczono dla biegu na 1500 m (B1500 – 26,38%), rzut oszczepem (RO – 25,99%), skok w dal (SD – 23,74%) i bieg na 100 m (B100 – 10,87%).



Rycina 30. Wartości własne składowych głównych – interpretacja graficzna (1985–2015)



Rycina 31. Udział zmiennych w pierwszej składowej głównej (1985–2015)

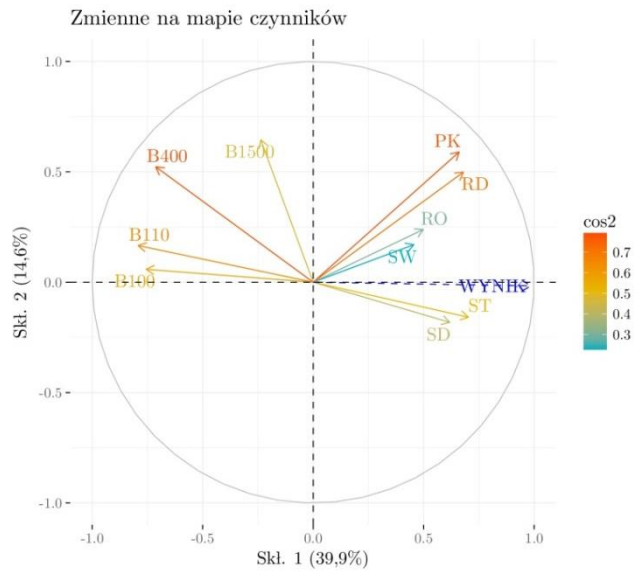


Rycina 32. Udział zmiennych w drugiej składowej głównej (1985–2015)



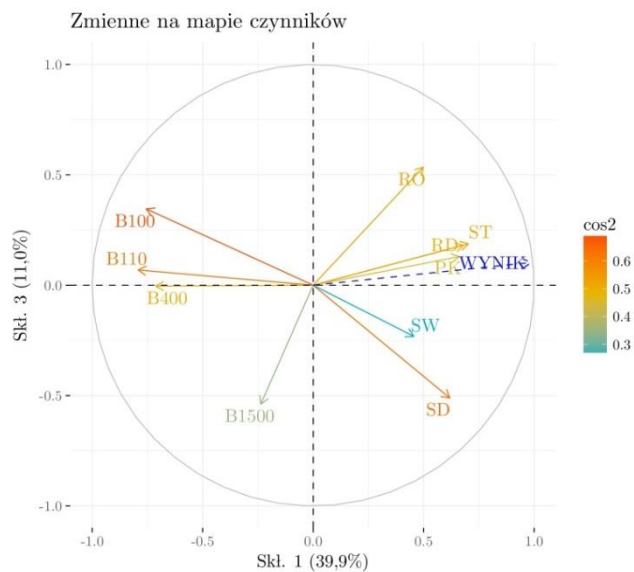
Rycina 33. Udział zmiennych w trzeciej składowej głównej (1985–2015)

Badając zależności pomiędzy zmiennymi na mapie czynników opisanej przez dwie pierwsze składowe główne (54,4% całkowitej wariancji) wyznaczone dla drugiej grupy dziesięcioboistów ze świata startujących w latach 1985–2015 (rycina 34), zaobserwowano silne dodatnie korelacje pomiędzy zmiennymi charakteryzującymi wyniki uzyskane w poszczególnych grupach konkurencji, tj. biegach, rzutach oraz skokach. Wśród sprinterskich konkurencji biegowych, mających znaczący udział w tworzeniu pierwszej składowej, najlepiej korelują ze sobą bieg przez płotki (B110) z dystansem 100 (B100) i 400 metrów (B400), a także bieg na 1500 m (B1500) z 400 m. W grupie konkurencji rzutowych stwierdzono, że wszystkie trzy rodzaje rzutów są ze sobą silnie związane, a biorąc pod uwagę jakość reprezentacji tych zmiennych okazało się, że istotne dla zbadania struktury lekkoatletycznego dziesięcioboju tej grupy zawodniczej przy użyciu analizy PCA, były zależności pomiędzy pchnięciem kulą (PK) a rzutem dyskiem (RD). Wśród skoków znaczące były związki pomiędzy skokiem o tyczce (ST) i skokiem w dal (SD), które dodatkowo silnie i ujemnie korelują z biegiem przez płotki oraz biegiem na 100 m.



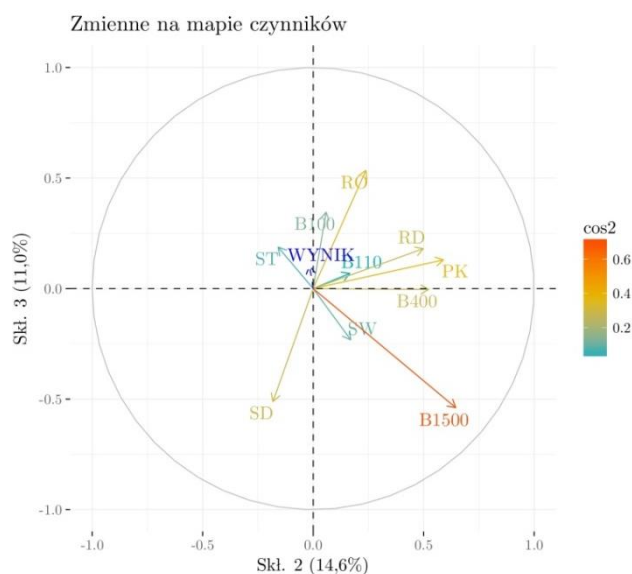
Rycina 34. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez pierwszą i drugą składową główną (1985–2015)

Analizując rycinę 35, przedstawiającą projekcję uwzględnionych zmiennych na płaszczyźnie utworzonej przez pierwszą i trzecią składową, które w sumie opisują 50,9% całkowitej wariancji danych dotyczących badanej grupy, stwierdzono, że wśród najbardziej znaczących zmiennych najsilniejsze powiązania wykazują bieg na dystansie 100 metrów z biegiem przez płotki oraz skokiem w dal (silna, ujemna korelacja), biegi na 400 m wraz z płotkami (B110), a także zmienne przypisane do konkurencji rzutu dyskiem (RD) i pchnięcia kulą (PK) ze skokiem o tyczce (ST), które silnie wpływają na zmienną obrazującą wyniki sumaryczne (WYNIK).



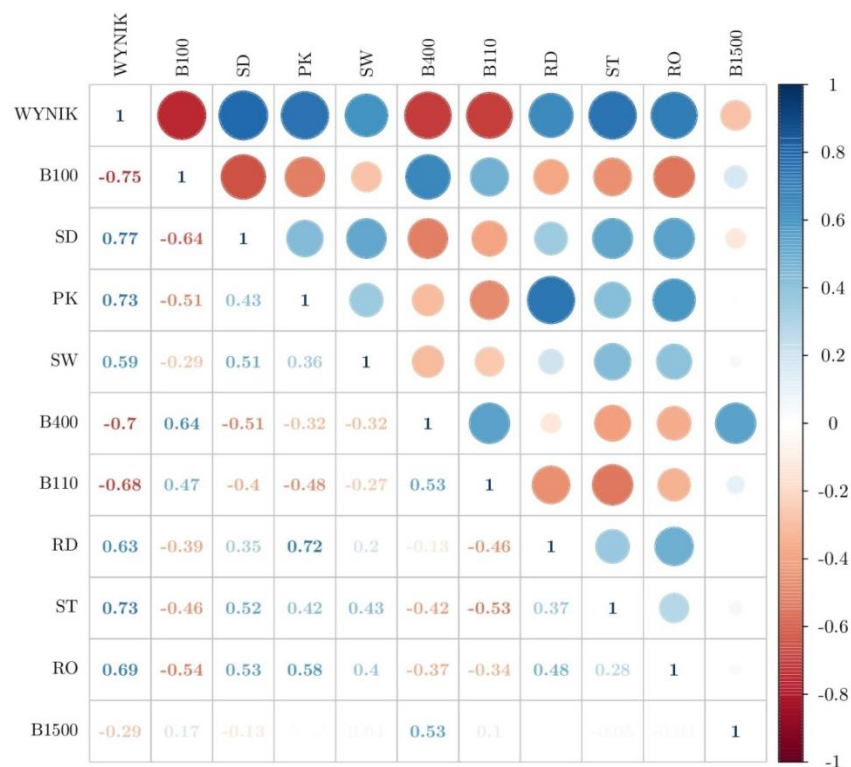
Rycina 35. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez pierwszą i trzecią składową główną (1985–2015)

Interpretując mapę czynników utworzoną przez drugą i trzecią składową główną (rycina 36), zaobserwowano, że większość zmiennych na płaszczyźnie miała niewielki udział w obliczeniu wariancji poszczególnych składowych, a znaczące dla ich struktury były wyłącznie zmienne B1500, która mimo największego udziału w obu składowych nie wykazywała związków z pozostałymi znaczącymi zmiennymi oraz pchnięcie kulą (PK), rzut dyskiem (RD) i bieg na 400 metrów (B400), które charakteryzowały się między sobą dużą zależnością.

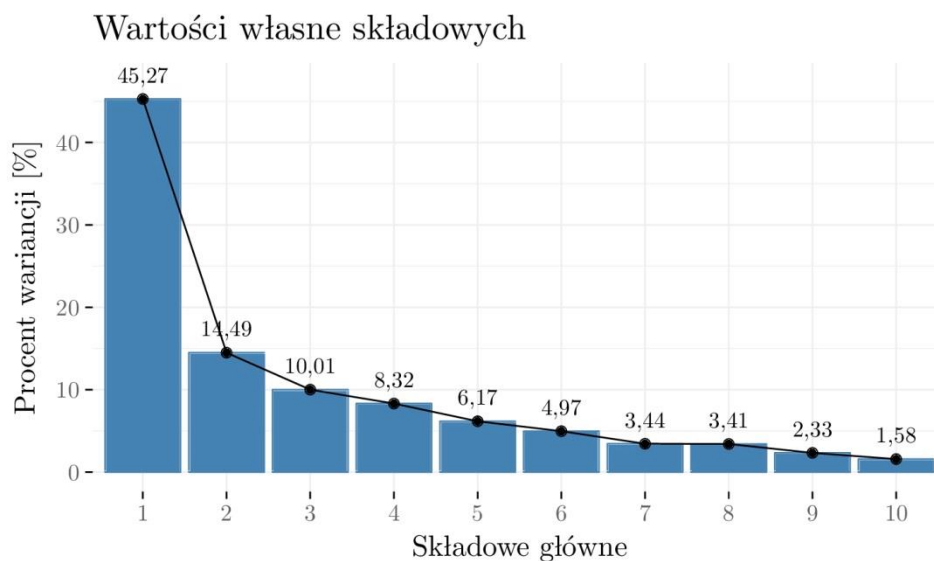


Rycina 36. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez drugą i trzecią składową główną (1985–2015)

Kolejny zakres danych wykorzystanych do analizy wymiarowej dotyczył polskiej grupy dziesięcioboistów startujących w latach 1985–2015. Na ich podstawie wyznaczono m.in. macierz współczynników korelacji pomiędzy poszczególnymi zmiennymi (rycina 37) oraz przeprowadzono analizę składowych głównych. Rezultatem zastosowanej metody PCA było utworzenie 10 nowych składowych głównych opisujących w sumie całkowitą wariancję danych oryginalnych. Analizując otrzymane wartości własne składowych (rycina 38, tabela 45 – aneks), które określają ilościowo wariancję niesionych w sobie danych, do dalszej interpretacji wybrano trzy pierwsze składowe główne, które opisują w sumie 69,77% zmienności zebranych danych.



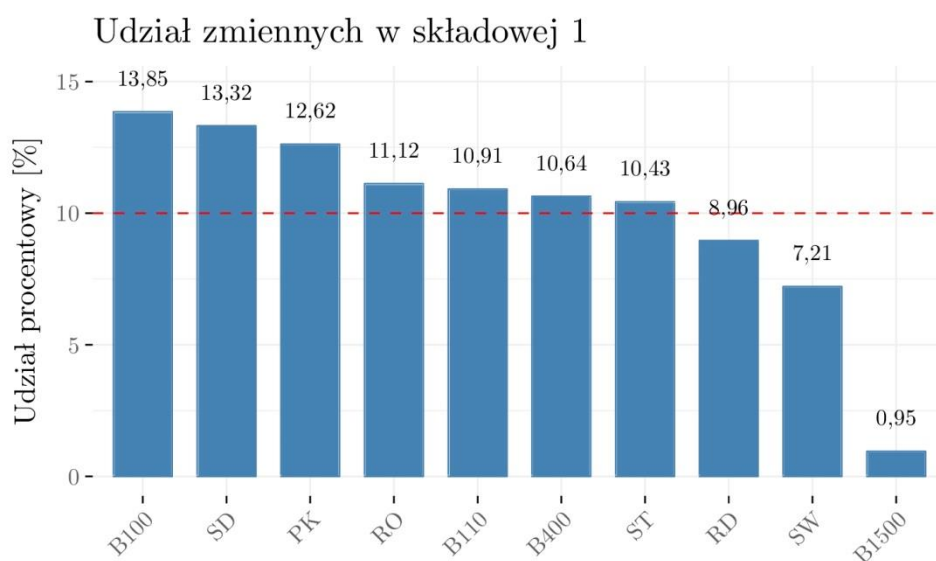
Rycina 37. Wartości współczynników korelacji liniowej Pearsona dla poszczególnych konkurencji składowych oraz wyniku w grupie najlepszych polskich zawodników (1985–2015)



Rycina 38. Wartości własne składowych głównych – interpretacja graficzna (1985–2015)

Każda zmienna oryginalnych danych uwzględniona w analizie PCA ma określony wkład w budowaniu nowych składowych. Wartości procentowe zmiennych objaśniających trzy pierwsze składowe główne umieszczono w tabeli 46 (aneks), a ich graficzną formę przedstawiono na rycinach 39–41. Badając strukturę pierwszej składowej, zaobserwowano aż siedem zmiennych objaśniających, spośród których największe wartości procentowe

osiągnęły zmienne odpowiadające konkurencjom biegu na 100 m, skoku w dal i pchnięcia kulą. Pozostałe zmienne o wartościach powyżej czerwonej przerywanej linii (rycina 39) w mniejszym, ale istotnym, stopniu mają wpływ na jakość informacji przechowywanej w pierwszej składowej głównej. Drugą składową główną (rycina 40) tworzą zmienne przechowujące dane na temat rezultatów osiągniętych w konkurencjach biegu na dystansie 1500 m (43,81%), biegu na 400 m (26,45%) oraz rzutu dyskiem (14,89%). W strukturze ostatniej składowej głównej (rycina 41) wyróżnić można zmienną skoku wzwyż, która opisuje 39,95% zmienności oraz zmienne rzutu dyskiem i biegu na 1500 m.



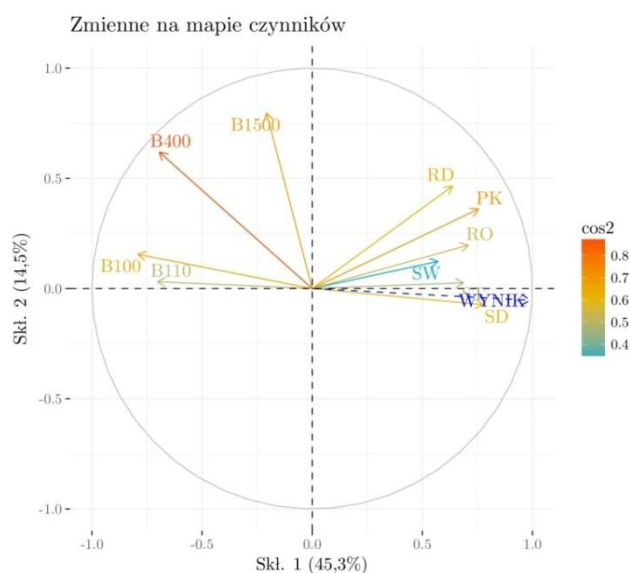
Rycina 39. Udział zmiennych w pierwszej składowej głównej (1985–2015)



Rycina 40. Udział zmiennych w drugiej składowej głównej (1985–2015)



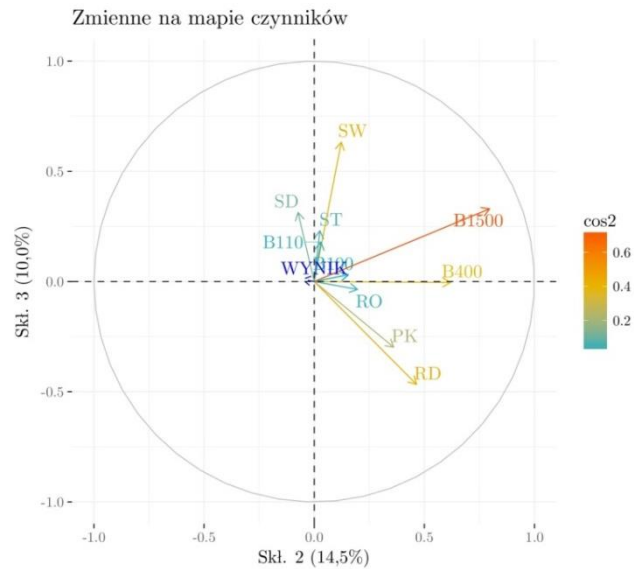
Rycina 41. Udział zmiennych w trzeciej składowej głównej (1985–2015)



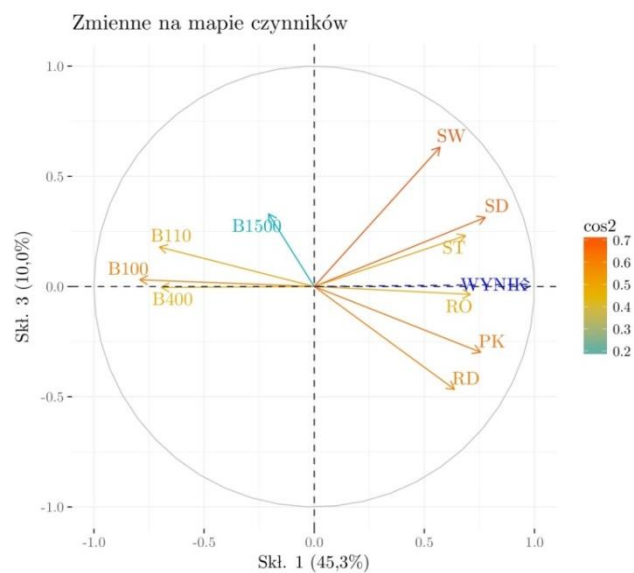
Rycina 42. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez pierwszą i drugą składową główną (1985–2015)

Na podstawie wykresu tworzącego płaszczyznę opisaną przez pierwsze dwie składowe główne (59,76% całkowitej wariancji) oraz wykreślonych zmiennych (rycina 42), zaobserwowano dużą korelację pomiędzy biegami sprinterskimi na dystansach 100 m i 110 m, które silnie ujemnie korelują z konkurencjami skoku w dal oraz skoku o tyczce. Zauważono również dodatnią korelację pomiędzy konkurencjami rzutów. Zmienna przechowująca dane dotyczące rezultatów uzyskanych przez dziesięcioboistów w biegu na 1500 m nie wykazuje zależności z resztą zmiennych (poza nieznaczną korelacją z biegiem na 400 m). Na wykresie opisanym przez drugą i trzecią składową zaobserwowano duży udział konkurencji biegu na 1500 m w tworzeniu drugiej składowej, która podobnie jak wcześniej,

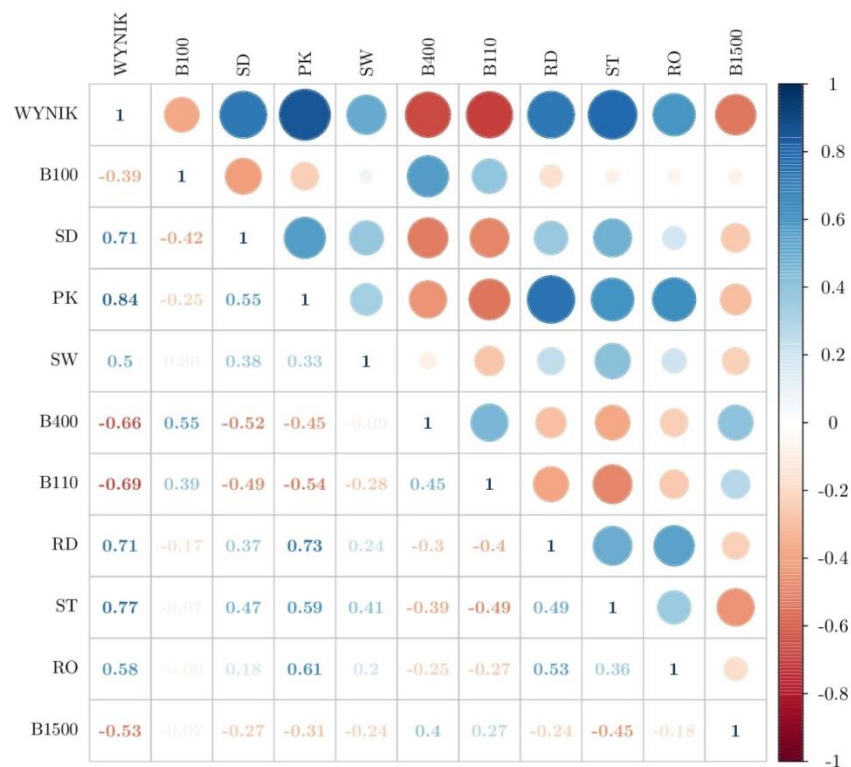
nie wykazuje korelacji z innymi konkurencjami oprócz biegu na 400 m. Rzutując zmienne na oś rzędnych tworzoną przez trzecią składową, zaobserwować można duży udział zmiennej skoku wzwyż oraz rzutu dyskiem w strukturze trzeciej składowej, co potwierdza wcześniejsze obserwacje (rycina 41).



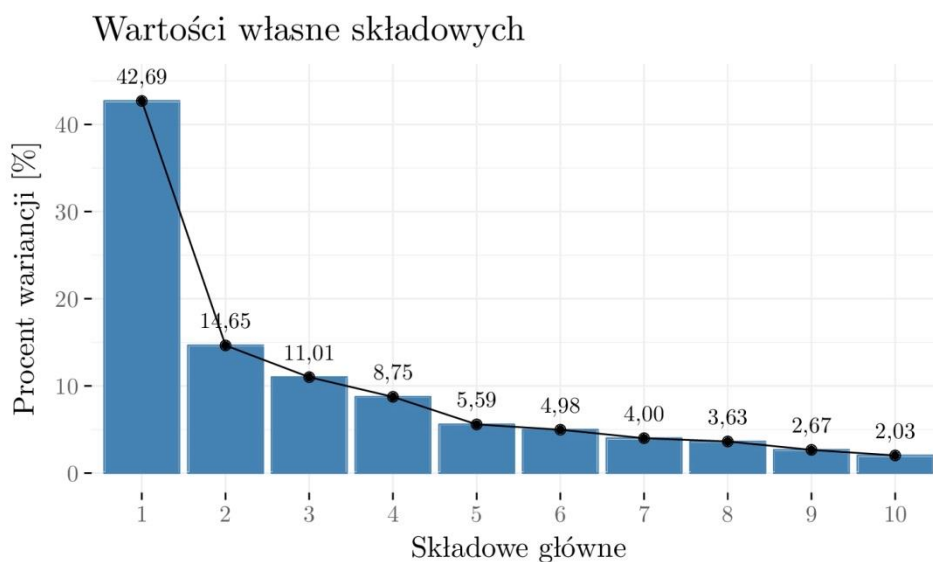
Rycina 43. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez drugą i trzecią składową główną (1985–2015)



Rycina 44. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez pierwszą i trzecią składową główną (1985–2015)



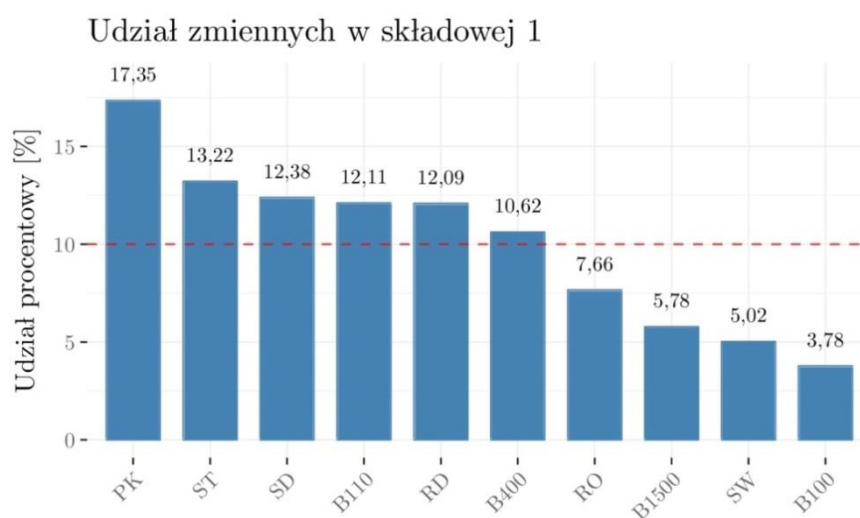
Rycina 45. Wartości współczynników korelacji liniowej Pearsona dla poszczególnych konkurencji składowych oraz wyniku w grupie najlepszych zawodników świata (1968–1984)



Rycina 46. Wartości własne składowych głównych – interpretacja graficzna (1968–1984)

Wyniki analizy wartości współczynników korelacji liniowej Pearsona (rycina 45) oraz zastosowanej metody PCA dla grupy najlepszych zawodników świata startujących w okresie od 1968 do 1984 roku zaprezentowano poniżej. Na podstawie wartości własnych składowych głównych (tabela 47 – aneks) i ich interpretacji graficznej (rycina 46), a także przyjętego

kryterium Kaisera, spośród nowoutworzonych 10 składowych do dalszych badań wybrano trzy pierwsze składowe główne, które w sumie opisują ponad 68% całkowitej zmienności zebranego materiału badawczego dotyczącego grupy najlepszych zawodników świata startujących w okresie od 1968 do 1984 roku. Największy udział w całkowitej wariancji ma pierwsza składowa główna (42,69%), którą w dużym stopniu tworzą zmienne uwzględniające wyniki zdobywane w konkurencjach pchnięcia kulą (PK – 17,35%), skoku o tyczce (ST – 13,22), skoku w dal (SD – 12,38%), biegu przez płotki (B110 – 12,11%), rzutu dyskiem (RD – 12,09%) oraz biegu na 400 m (B400 – 10,62%). Pozostałe konkurencje składowe mają znikomy udział w jej strukturze (rycina 47).



Rycina 47. Udział zmiennych w pierwszej składowej głównej (1968–1984)



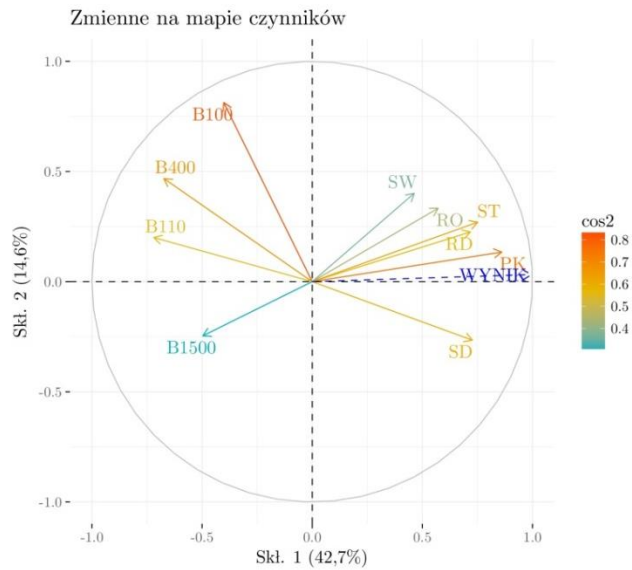
Rycina 48. Udział zmiennych w drugiej składowej głównej (1968–1984)

Analizując drugą składową (rycina 48, tabela 48 – aneks), zaobserwowano, że istotne dla przechowywanej w niej wariacji, są zmienne biegu na 100 m (B100 – 45,14%), biegu na 400 m (B400 – 14,95%) i skoku w dal (SW – 10,98%). W strukturze trzeciej składowej głównej najbardziej znaczące okazują się wyniki uzyskane w konkurencjach rzutu oszczepem (RO – 26,59%), biegu na 1500 m (B1500 – 24,99%), rzutu dyskiem (RD – 15,52%) oraz skoku wzwyż (SW – 12,81%).

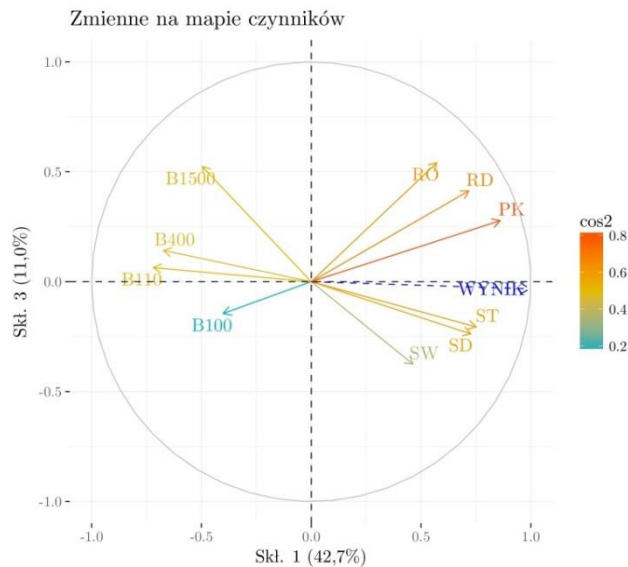


Rycina 49. Udział zmiennych w trzeciej składowej głównej (1968–1984)

Na mapie czynników (rycina 50) utworzonej przez dwie pierwsze składowe wyznaczone w wyniku analizy PCA, na podstawie zgromadzonych rezultatów metrycznych uzyskanych przez najlepszych dziesięcioboistów świata w czasie trwania ich karier sportowych w okresie 1968–1984, zobrazowano zależności pomiędzy zmiennymi, które wskazują na duży dodatni związek konkurencji rzutu dyskiem (RD) ze skokiem o tyczce (ST) i pchnięciem kulą (PK), a także ujemną zależność zmiennych B110 (bieg przez płotki) z SD (skok w dal). Na płaszczyźnie widoczne są również istotne zależności pomiędzy trzema konkurencjami biegowymi, tj. biegiem na 110 m przez płotki, biegiem na 400 metrów i biegiem na 100 m. Analizując zmienną reprezentującą wynik sumaryczny, stwierdzono, że największy wpływ na jej postać miały zmienne PK, RD i B110. Pozostałe zmienne, nie mające istotnego wpływu na strukturę poszczególnych składowych głównych, nie wykazywały również znaczących powiązań.



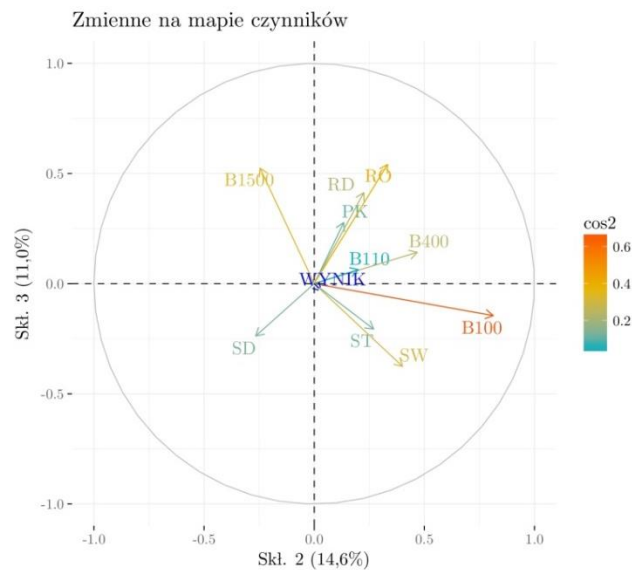
Rycina 50. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez pierwszą i drugą składową główną (1968–1984)



Rycina 51. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez pierwszą i trzecią składową główną (1968–1984)

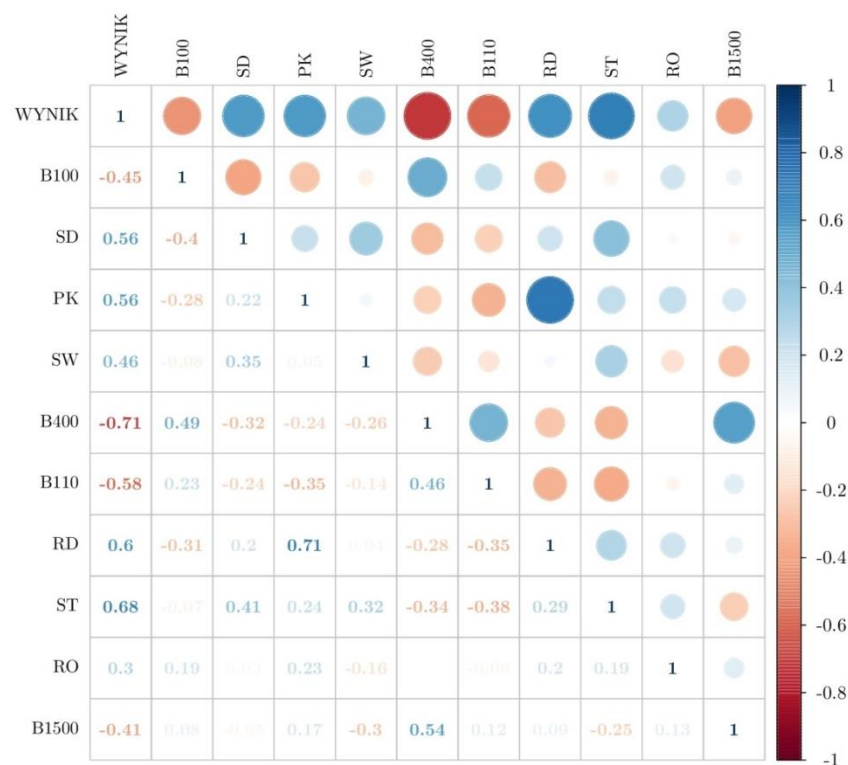
Na podstawie projekcji zmiennych na mapę czynników opisaną przez pierwszą i trzecią składową główną (rycina 51) stwierdzono, że większość zmiennych, biorących udział w obliczeniu zmienności analizowanych składowych głównych, miało znaczący wpływ na ich strukturę. W wyznaczonej przestrzeni, opisującej w sumie 53,7% całkowitej zmienności, najsilniejsze dodatnie i znaczące związki pomiędzy poszczególnymi zmiennymi zaobserwowano dla rzutu dyskiem (RD) z pchnięciem kulą (PK) i rzutem oszczepem, skoków o tyczce (ST) i w dal (SD) oraz biegów na 110 m przez płotki (B110) i 400 m (B400). Największy wpływ na zmienną charakteryzującą wynik miały wspomniane powyżej

konkurencje biegów wskazujące na silną ujemną korelację. Najmniej znacząca w interpretacji okazała się zmienna przypisana do konkurencji biegu na 100 metrów, która wskazywała na pewne związki z innymi zmiennymi, lecz ze względu na wartość \cos^2 została pominięta. Parametr \cos^2 określa znaczenie poszczególnych zmiennych na płaszczyźnie opisanej przez analizowane składowe główne, a im większa jego wartość, tym zmienna odgrywa większą rolę w interpretacji.



Rycina 52. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez drugą i trzecią składową główną (1968–1984)

Na mapie czynników przedstawionej na rycinie 52 wektory, obrazujące zmienne charakteryzujące wartości metryczne uzyskane w każdej z dziesięciu konkurencji, wskazują na nieliczne istniejące związki pomiędzy tymi zmiennymi w przestrzeni opisanej przez drugą i trzecią składową. Największy udział w drugiej składowej i najlepszą jakość reprezentacji posiadała zmienna B100 (bieg na 100 m), która istotnie dodatnio koreluje z biegiem na 400 m (B400) i skokiem wzwyż (SW). W grupie konkurencji skoków zaobserwować można, że wszystkie trzy konkurencje są ze sobą silnie powiązane, niestety znaczący w interpretacji był tylko związek pomiędzy rzutem oszczepem (RO) i rzutem dyskiem (RD).

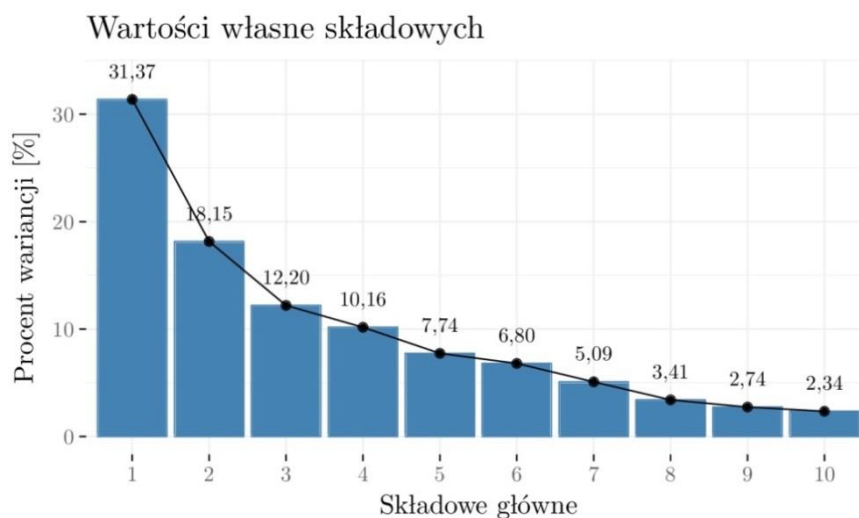


Rycina 53. Wartości współczynników korelacji liniowej Pearsona dla poszczególnych konkurencji składowych oraz wyniku w drugiej grupie zawodników świata (1968–1984)

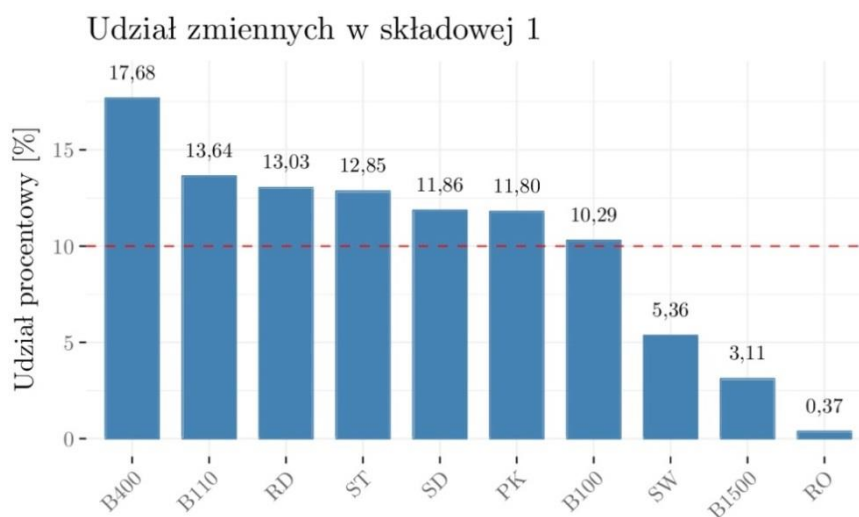
Na rycinie 53 przedstawiono zależności pomiędzy uzyskiwanymi rezultatami cząstkowymi w każdej z dziesięciu konkurencji dziesięcioboju wśród zawodników drugiej grupy świata startujących w okresie 1968–1984. Badając wyznaczone wartości korelacji, najsilniejszą zależność, kształtującą się na poziomie $r_{xy} = 0,71$, zaobserwowano dla pchnięcia kulą i rzutu dyskiem, dodatkowo znaczące, z praktycznego punktu, mogą się okazać powiązania konkurencji biegowych: biegu na dystansie 400 m z biegiem na 1500 m ($r_{xy} = 0,54$) oraz biegiem na 100 m ($r_{xy} = 0,49$), a także biegiem przez płotki ($r_{xy} = 0,46$). Zależności pomiędzy pozostałymi konkurencjami okazały się mniej znaczące ze względu na małe wartości współczynników korelacji.

W drugiej badanej grupie zawodników świata wyznaczone wartości własne składowych (rycina 54, tabela 49 – aneks) oraz przyjęte kryterium doboru ich ilości pozwala na uwzględnienie w dalszej analizie struktury czterech składowych głównych. W wyznaczeniu pierwszej składowej głównej opisującej 31,37% zmienności danych największy udział w jej budowie miały zmienne zobrazowane na rycinie 55, których wartość procentowa znalazła się powyżej średniej wartości oczekiwanej (czerwona przerywana linia). Wśród tych zmiennych, zawierających wyniki metryczne uzyskiwane w poszczególnych konkurencjach, znajdowało się aż siedem zmiennych: bieg na 400 m (B400), bieg przez płotki (B110), rzut dyskiem

(RD), skok o tyczce (ST), skok w dal (SD), pchnięcie kulą (PK) oraz bieg na 100 m (B100). W strukturze drugiej składowej głównej (rycina 56), opisującej 18,15% zmienności, znaczący udział miały zmienne biegu na 1500 m (B1500), pchnięcia kulą (PK), rzutu dyskiem (RD), rzutu oszczepem (RO) i skoku wzwyż (SW). Kolejną składową główną tworzyły zmienne biegu na 100 m, rzutu oszczepem oraz skoku o tyczce (rycina 57). W ostatniej uwzględnionej składowej głównej największy udział procentowy w określeniu zmienności (rycina 58) miały wyniki uzyskane w konkurencjach skoku w dal, skoku wzwyż, biegu na 1500 m oraz biegu na 400 m.

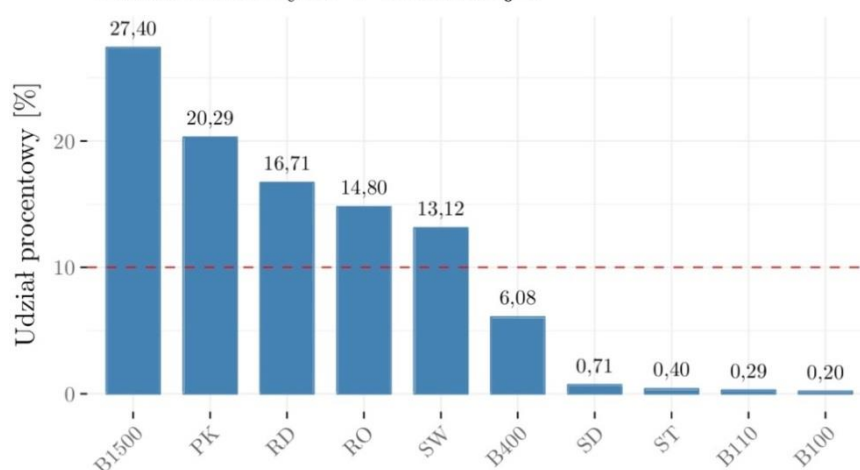


Rycina 54. Wartości własne składowych głównych – interpretacja graficzna (1968–1984)



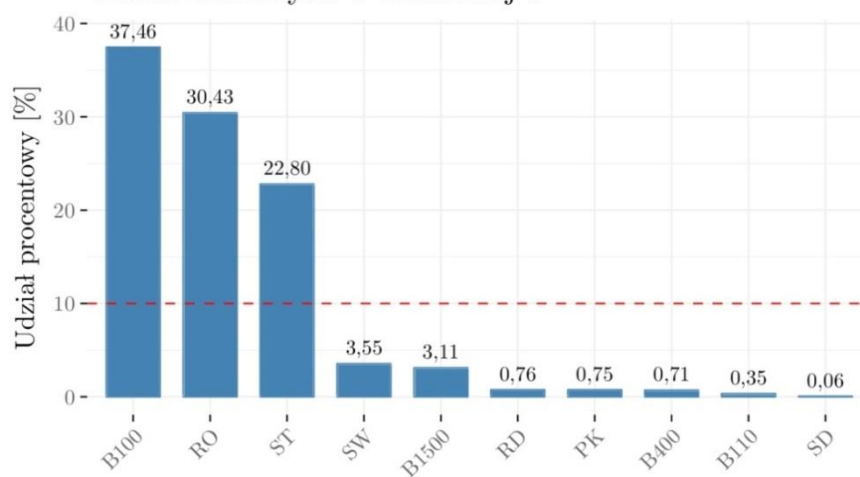
Rycina 55. Udział zmiennych w pierwszej składowej głównej (1968–1984)

Udział zmiennych w składowej 2



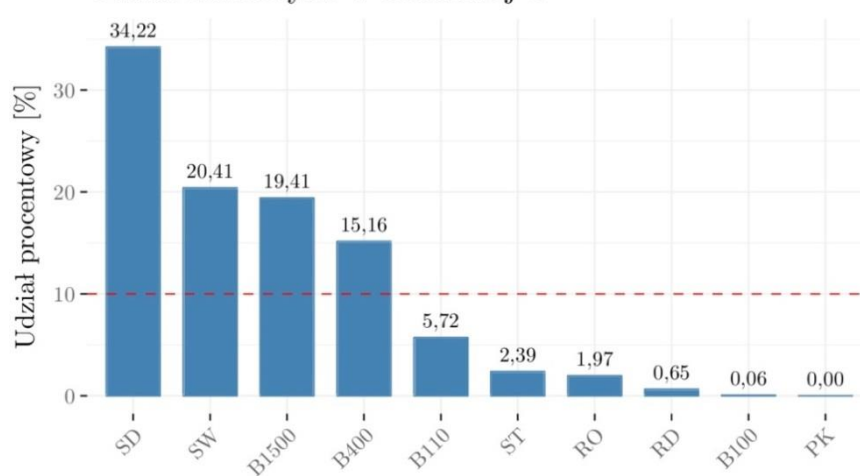
Rycina 56. Udział zmiennych w drugiej składowej głównej (1968–1984)

Udział zmiennych w składowej 3



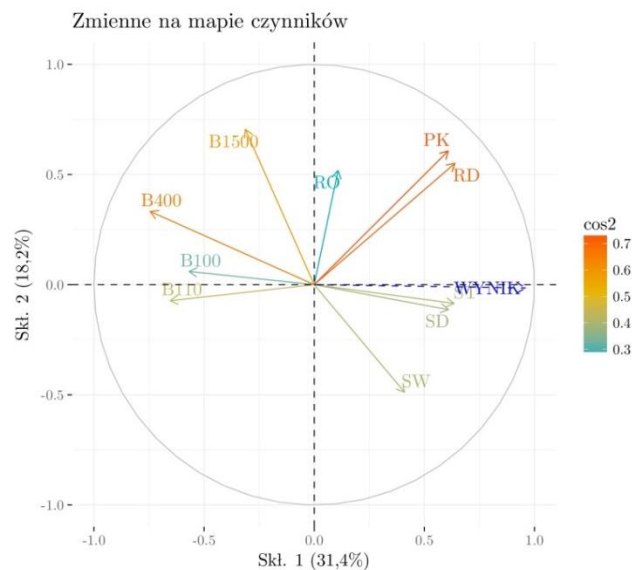
Rycina 57. Udział zmiennych w trzeciej składowej głównej (1968–1984)

Udział zmiennych w składowej 4



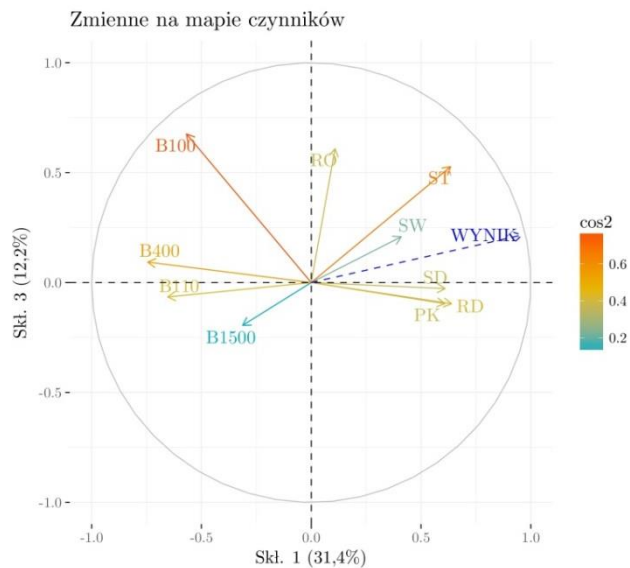
Rycina 58. Udział zmiennych w czwartej składowej głównej (1968–1984)

Na mapie czynników utworzonej przez dwie pierwsze składowe główne (rycina 59), opisujące 49,6% całkowitej wariancji analizowanych danych, silnie i dodatnio korelują ze sobą zmienne pchnięcia kulą (PK) i rzutu dyskiem (RD), skoków o tyczce (ST) i w dal (SD), a także biegi na dystansach 100 m (B100) i 110 m przez płotki (B110). Ujemne, silne korelacje wyznaczono dla zmiennych reprezentujących skok o tyczce (ST) i skok w dal (SD), bieg na dystansie 100 m (B100) i bieg przez płotki (B110), a także bieg na 1500 m (B1500) i skok wzwyż (SW). Ponadto, dla dystansu 1500 m (B1500) zaobserwowano dodatnie korelacje z biegiem na 400 m (B400) i rzutem oszczepem (RO).



Rycina 59. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez pierwszą i drugą składową główną (1968–1984)

Analizując wektory wyznaczone na rycinie 60, obrazującej przestrzeń opisaną przez pierwszą i trzecią składową główną (w sumie 43,6% całkowitej zmienności), zaobserwowano silne związki pomiędzy pchnięciem kulą (PK), rzutem dyskiem (RD) i skokiem w dal (SD) oraz biegami na dystansie 400 m (B400) i biegiem przez płotki (B110). Wśród analizowanych dziesięciu zmiennych wyznaczono również silne ujemne związki pomiędzy wspomnianymi wyżej konkurencjami rzutowymi (RD i PK) oraz skokiem w dal (SD). Na podstawie wykresu przedstawiającego mapę czynników, można również potwierdzić poprzednie obserwacje na temat udziału poszczególnych zmiennych w tworzeniu składowych (pierwszej i trzeciej). Najlepszą reprezentacją zmiennych na płaszczyźnie charakteryzowały się zmienne B100, ST i B400, a najgorszą zmienne B1500 i SW.



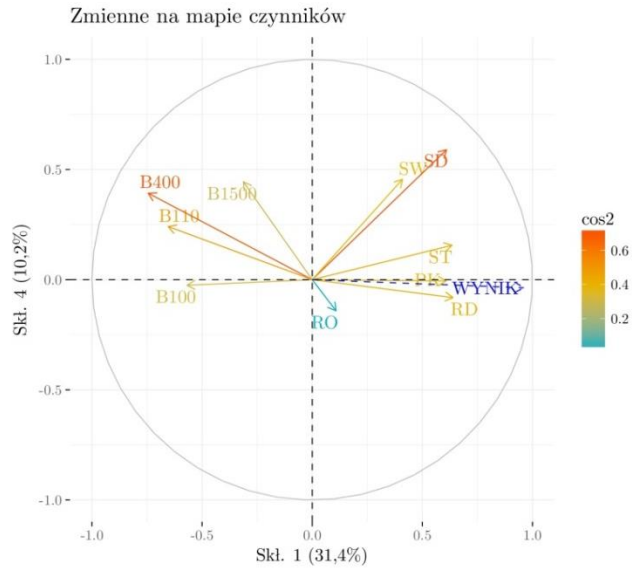
Rycina 60. Projektcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez pierwszą i trzecią składową główną (1968–1984)

Na rycinie 61 przedstawiającej płaszczyznę utworzoną przez pierwszą i trzecią składową, które w sumie objaśniają 41,6% całkowitej zmienności analizowanego materiału, zaobserwowano różne związki pomiędzy zmiennymi. Analizując wektory o najlepszej reprezentacji, na płaszczyźnie najsilniej korelują ze sobą skok wzwyż (SW) i skok w dal (SD), biegi na dystansie 400 m (B400) i przez płotki (B110), a także pchnięcie kulą (PK) z rzutem dyskiem (RD) i ze skokiem o tyczce (ST), mające również duży związek ze zmienną WYNIK. Dodatkowo, dla wspomnianych już dwóch konkurencji rzutowych oraz biegów zaobserwowano ujemne i silne korelację.

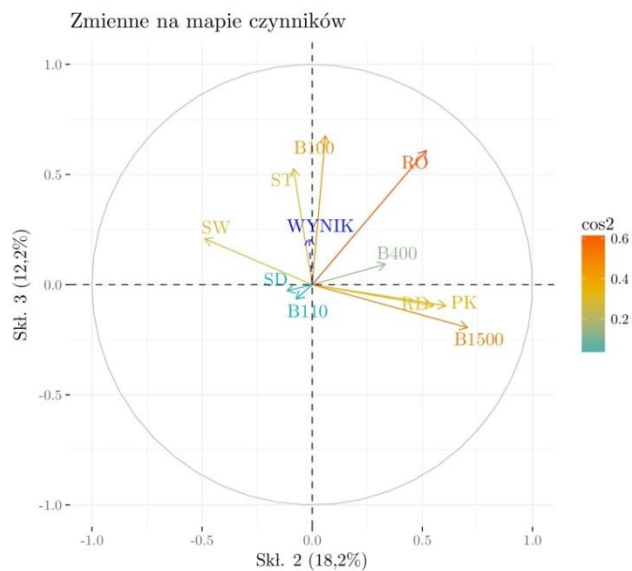
Na kolejnej rycinie (rycina 62) przedstawiającej wektory zmiennych biorących udział w tworzeniu analizowanej płaszczyzny (płaszczyzna opisuje 30,4% całkowitej zmienności) zwrócono uwagę na duże znaczenie parametrów przechowujących dane wyników metrycznych konkurencji wszystkich rzutów (RO, RD, PK), dwóch biegów (B1500, B100) oraz dwóch skoków (ST i SW). Badając zależności pomiędzy zmiennymi na mapie czynników, zaobserwowano silne dodatnie korelacje pomiędzy konkurencjami rzutu dyskiem (RD), pchnięcia kulą (PK) i biegu na 1500 m (B1500), które dodatkowo były ujemnie i silnie związane ze skokiem wzwyż (SW) oraz słabsze dodatnie powiązania pomiędzy biegiem na 100 m (B100) ze skokiem o tyczce (ST) i rzutem oszczepem (RO).

Na podstawie projekcji zmiennych na mapę czynników utworzoną przez drugą i czwartą składową główną (rycina 63) stwierdzono, że najlepszym odwzorowaniem zmiennych na płaszczyźnie charakteryzowały się parametry przypisane do konkurencji biegu na 1500 (B1500), który związany jest z dystansem 400 m, wszystkie konkurencje rzutowe,

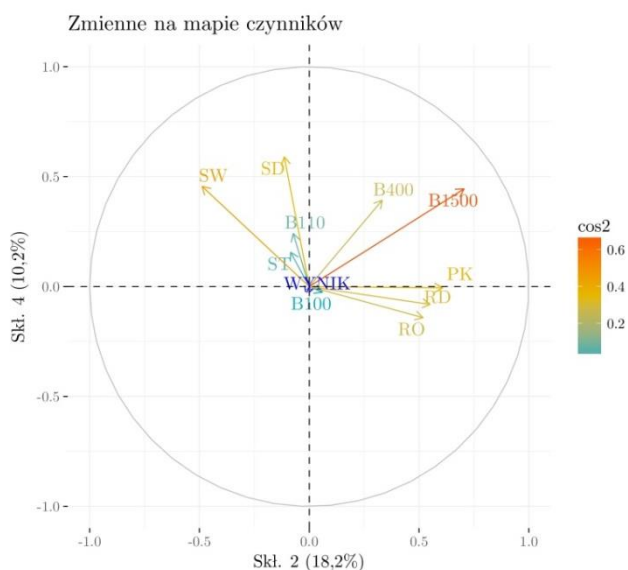
silnie dodatnio korelujące między sobą oraz skoki w dal i wżwyż, których zależność jest również znacząca. Najmniejszym udziałem w badanych składowych głównych (druga i trzecia składowa główna) i najsłabszą jakością cechowały się zmienne B100, ST, B110.



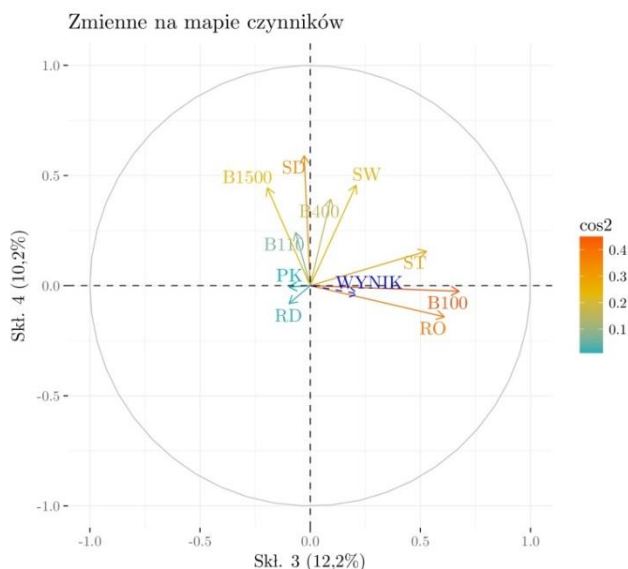
Rycina 61. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez pierwszą i czwartą składową główną (1968–1984)



Rycina 62. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez drugą i trzecią składową główną (1968–1984)



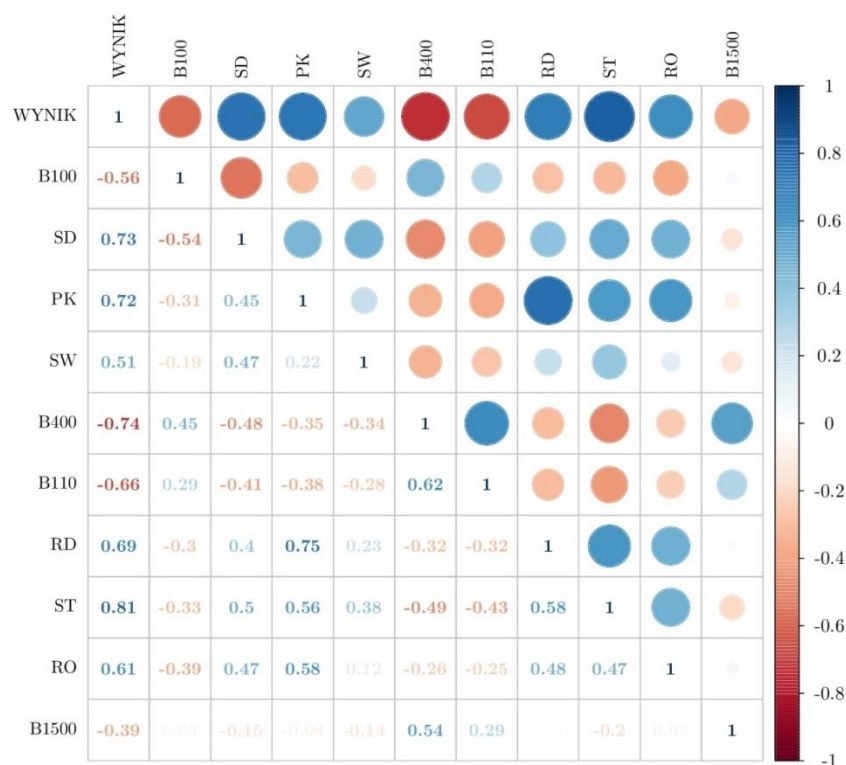
Rycina 63. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez drugą i czwartą składową główną (1968–1984)



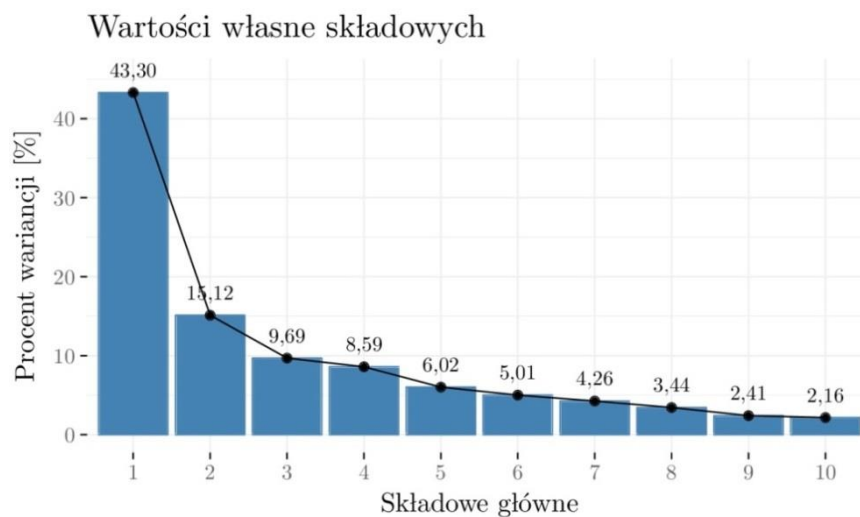
Rycina 64. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez trzecią i czwartą składową główną (1968–1984)

Ostania zilustrowana płaszczyzna (rycina 64), utworzona przez trzecią i czwartą składową, opisująca w sumie tylko 22,4% całkowitej zmienności dla badanej grupy dziesięciobojowej (1968–1984), obrazuje znaczący związek pomiędzy konkurencjami biegu na 100 m (B100) i rzutem oszczepem (RO), które w dużym stopniu miały udział w wyznaczeniu trzeciej składowej, a także skokiem o tyczce (ST). Ponadto, istotne były również zależności pomiędzy skokiem w dal (SD) a skokiem wzwyż (SW) i biegiem na dystansie (B1500), które z kolei miały znaczny wpływ na obliczenie czwartej składowej. Pozostałe zmienne charakteryzowały się słabym odwzorowaniem na płaszczyźnie.

Wyniki analizy korelacji (rycina 65) oraz analizy PCA dla danych dotyczących przebiegu karier najlepszych dziesięcioboistów z Polski startujących od 1968 do 1984 zaprezentowano i opisano poniżej. Na podstawie wartości własnych dziesięciu nowych składowych głównych, które przedstawiono w tabeli 51 (aneks) i na rycinie 66, oraz kryterium Kaisera, do dalszej interpretacji oraz badań przyjęto tylko dwie pierwsze składowe główne opisujące razem 58,41% całkowitej wariancji danych. Na strukturę pierwszej składowej, objaśniającej 43,30% zmienności, największy wpływ miały zmienne (rycina 67) skoku o tyczce (14,05%), skoku w dal (SD – 13,42%), pchnięcia kulą (PK – 13,15%), biegu na 400 m (B400 – 12,17%) oraz rzutu dyskiem (RD – 11,79%). Natomiast drugą składową (15,12%) obliczono głównie na podstawie zmiennych przechowujących wartości metryczne uzyskane przez dziesięcioboistów w konkurencjach biegów na dystansach 1500 m (B1500 – 35,94%) i 400 m (B400 – 17,89%), rzutów oszczepem (RO – 14,69%) oraz dyskiem (RD – 10,23%).



Rycina 65. Wartości współczynników korelacji liniowej Pearsona dla poszczególnych konkurencji składowych oraz wyniku w grupie najlepszych polskich zawodników świata (1968–1984)



Rycina 66. Wartości własne składowych głównych – interpretacja graficzna (1968–1984)

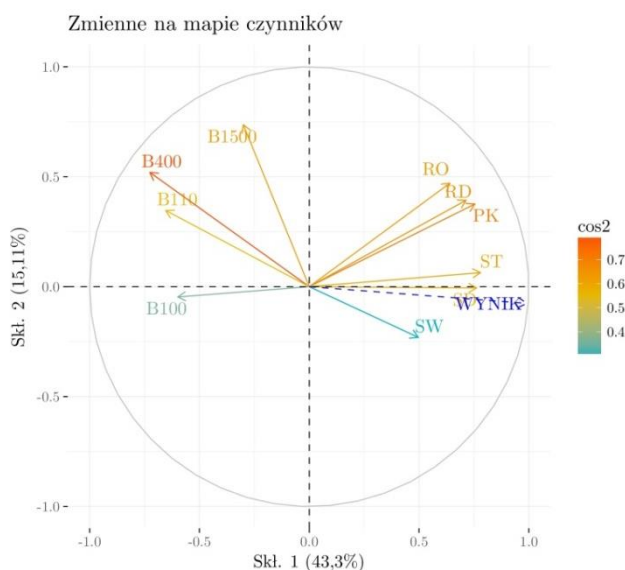


Rycina 67. Udział zmiennych w pierwszej składowej głównej (1968–1984)



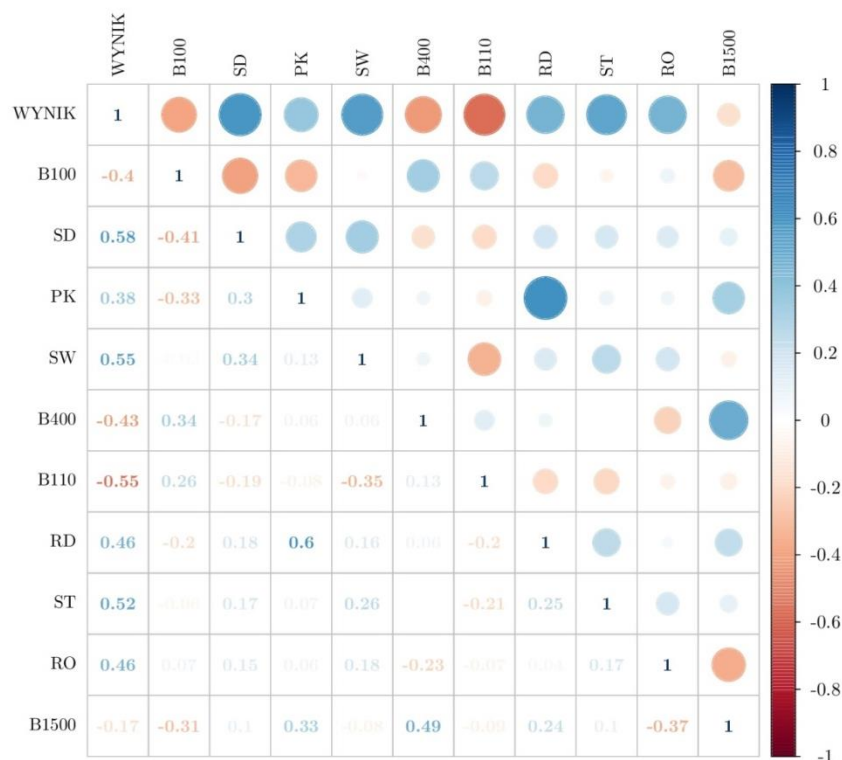
Rycina 68. Udział zmiennych w drugiej składowej głównej (1968–1984)

Na mapie czynników (rycina 69), opisującej w sumie 58,4% całkowitej zmienności, zilustrowano wektory (zmienne) biorące udział w tworzeniu dwóch pierwszych składowych głównych. Silne dodatnie zależności zaobserwowano m.in. pomiędzy wszystkimi konkurencjami rzutowymi (PK, RD, RO) oraz biegami na dystansach 400 metrów (B400) i 110 metrów przez płotki (B110), które słabiej, ale istotnie, korelują również z dystansem 1500 m (B1500). Ponadto silne związki dotyczą również dwóch konkurencji skoków, tj. skoku o tycze (ST) oraz skoku w dal (SD). Ze względu na słabą jakość zmiennych odpowiadających za wyniki zdobywane przez polskich dziesięcioboistów w konkurencjach biegu na 100 metrów (B100) oraz skoku wzwyż (SW), analiza związków tych konkurencji z innymi została pominięta. Badając wpływ wszystkich zmiennych na dodatkową zmienną WYNIK, zaobserwowano, że najsilniej dodatnio korelują z nią skok w dal i skok o tycze.

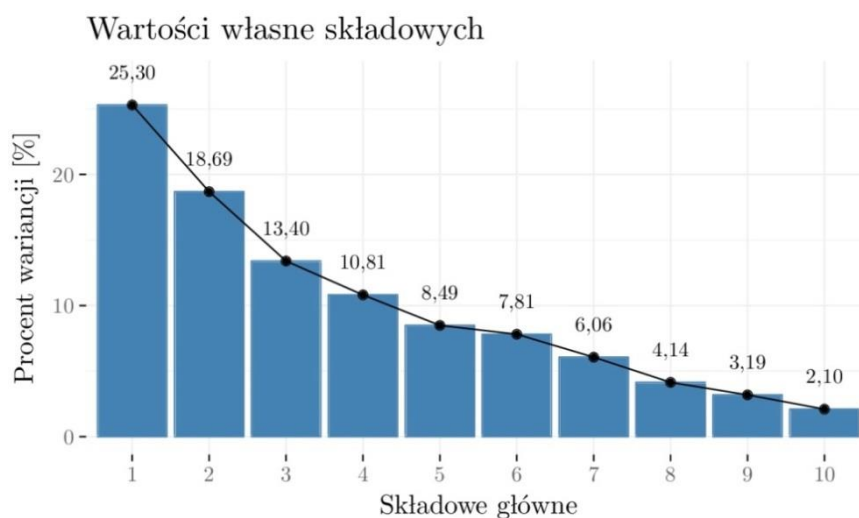


Rycina 69. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez pierwszą i drugą składową główną (1968–1984)

Na podstawie danych dotyczących rozwoju karier sportowych dziesięcioboistów z grupy świat startującej w okresie 1960–1967 wyznaczono wartości korelacji pomiędzy konkurencjami cząstkowymi (rycina 70) oraz wykonano analizę składowych głównych. Dzięki obliczonym wartościom własnym nowoutworzonych dziesięciu składowych oraz przyjętego kryterium doboru ich liczby, do dalszej interpretacji struktury lekkoatletycznego dziesięcioboju wybrano 4 pierwsze składowe opisujące w sumie 68,21% całkowitej zmienności (tabela 53 – aneks).



Rycina 70. Wartości współczynników korelacji liniowej Pearsona dla poszczególnych konkurencji składowych oraz wyniku w grupie najlepszych zawodników świata (1960–1967)



Rycina 71. Wartości własne składowych głównych – interpretacja graficzna (1960–1967)

Pierwsza składowa główna, objaśniająca największą część wariacji zebranego materiału badawczego (25,30%), została wyznaczona w dużej mierze na podstawie zmiennych (rycina 72), których udział w jej tworzeniu był powyżej wartości oczekiwanej, tzn. zmienna pchnięcie kulą (PK – 18,74%), rzut dyskiem (RD – 17,71%), skok w dal (SD – 15,90%), bieg na 100 m (B100 – 14,70%) oraz bieg przez płotki na 110 m

(B110 – 10,35%). Za strukturę danych w drugiej składowej, objaśniającej 18,69% całkowitej wariancji, odpowiedzialne były zmienne (rycina 73) przechowujące wartości metryczne konkurencji biegu na dystansie 1500 m (B1500 – 32,43%), biegu na 400 m (B400 – 26,81%) oraz rzutu dyskiem (RO – 22,21%).



Rycina 72. Udział zmiennych w pierwszej składowej głównej (1960–1967)



Rycina 73. Udział zmiennych w drugiej składowej głównej (1960–1967)

Największy udział w obliczeniu kolejnej, trzeciej składowej głównej miały zmienne (rycina 74) biegów na 100 m (B100 – 31,07%) i dystansie 400 m (B400 – 23,43%), a także skoków wzwyż (SW – 19,64%) i skoku o tyczce (ST – 15,90%). Struktura ostatniej (czwartej) analizowanej składowej głównej (rycina 75), która opisywała 10,81% całkowitej wariancji danych, charakteryzowała się udziałem następujących zmiennych: bieg przez płotki

(B110 – 23,99%), pchnięcie kulą (PK – 23,60%), rzutów dyskiem (RD – 18,52%) oraz oszczepem (RO – 16,78%).



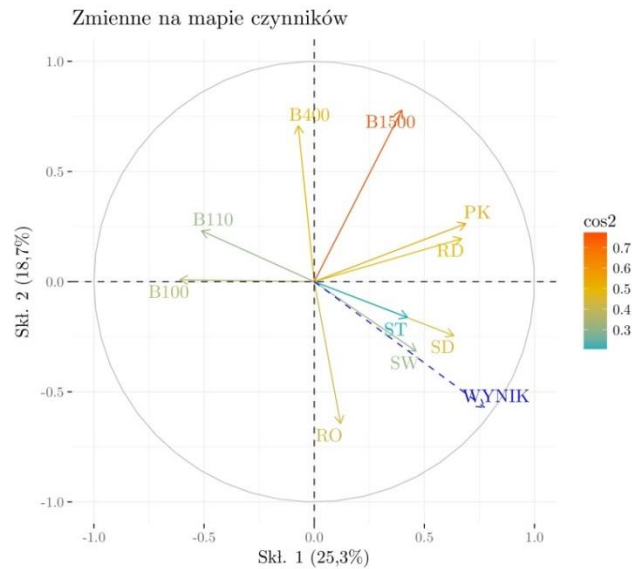
Rycina 74. Udział zmiennych w trzeciej składowej głównej (1960–1967)



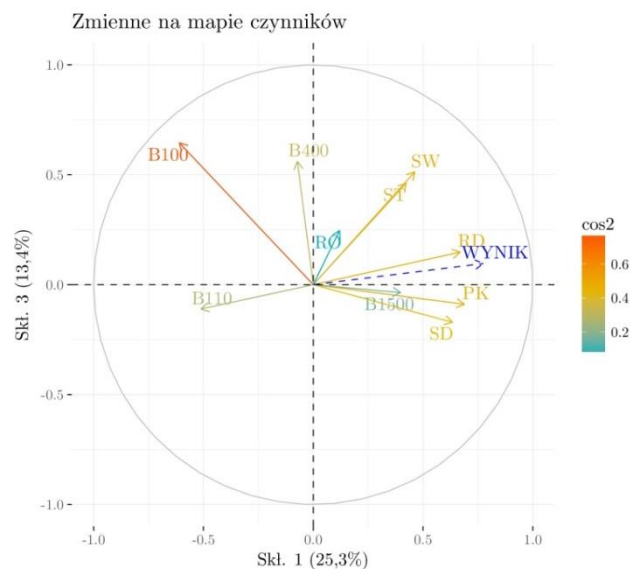
Rycina 75. Udział zmiennych w czwartej składowej głównej (1960–1967)

Analizując związki pomiędzy zmiennymi biorącymi udział w wyznaczeniu pierwszych dwóch składowych (rycina 76), zaobserwowano silnie korelujące ze sobą zmienne. Największe dodatnie związki wyznaczono dla zmiennych PK (pchnięcie kulą) i RD (rzut dyskiem), a także dla zmiennych charakteryzujących trzy skoki (SD, SW, ST), gdzie najmniej wartościowa, ze względu na jej jakość na płaszczyźnie, była zmienna przypisana do skoku o tyczce (ST). Silnie i ujemnie z kolei korelują parametry uwzględniające rezultaty osiągnięte w biegu na 400 m (B400) oraz rzutu oszczepem (RO), a także skoku w dal (SD) z biegiem przez płotki (B110). Badając związki pomiędzy innymi zmiennymi, stwierdzono brak

zależności pomiędzy biegiem na 400 m z pozostałymi konkurencjami rzutowymi (PK, RD) oraz biegiem na 100 m (B100), a także biegiem na dystansie 1500 m (B1500) z dystansem płotkarskim (B110) i wszystkimi skokami.



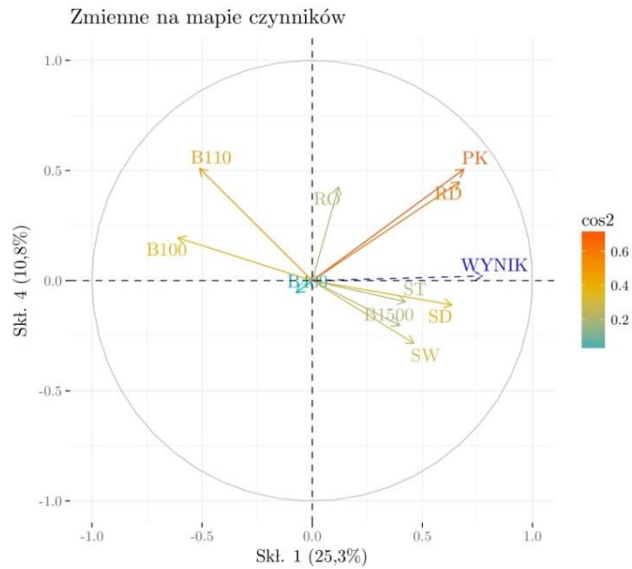
Rycina 76. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez pierwszą i drugą składową główną (1960–1967)



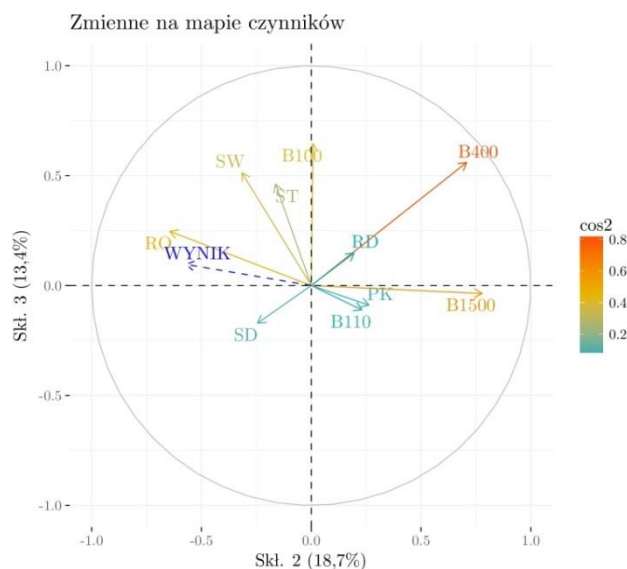
Rycina 77. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez pierwszą i trzecią składową główną (1960–1967)

Na podstawie projekcji zmiennych na mapie czynników wyznaczonych przez pierwszą i trzecią składową (rycina 77) stwierdzono, że w tej przestrzeni najlepiej między sobą korelują parametry charakteryzujące wyniki metryczne uzyskane w konkurencjach skoku wzwyż (SW) i skoku o tyczce (ST), a następnie pchnięcia kulą (PK) z skokiem w dal (SD) i rzutem

dyskiem (RD). Rozpatrując jakość (współczynnik \cos^2) wektora zmiennej B100 oraz jej wpływ na pozostałe parametry, stwierdzono, że wykazują one znaczącą ujemną zależność ze skokiem w dal i pchnięciem kulą oraz przeciętny związek z dystansem 400 m (B400) i płotkami (B110). Analizując wpływ wszystkich dziesięciu parametrów na zmienną reprezentującą wynik końcowy, zaobserwowano, że największy związek z wynikiem miały zmienne rzutu dyskiem i pchnięcia kulą.



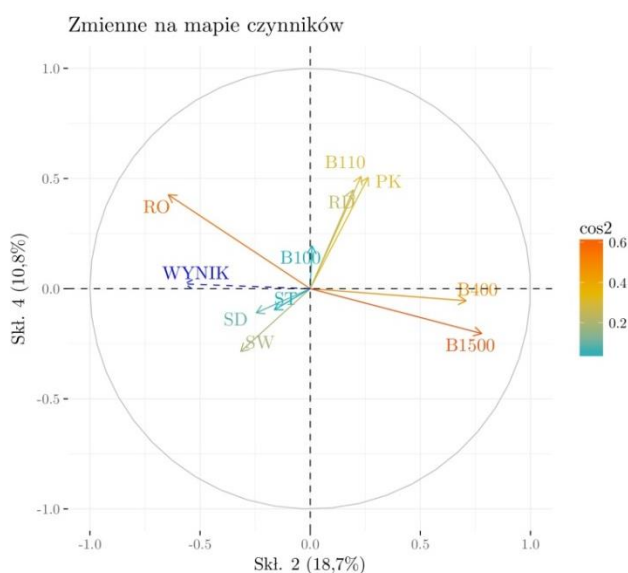
Rycina 78. Projektacja zmiennych na mapę czynników opisaną przez pierwszą i czwartą składową główną (1960–1967)



Rycina 79. Projektacja zmiennych na mapę czynników opisaną przez drugą i trzecią składową główną (1960–1967)

Na kolejnej rycinie (rycina 78), przedstawiającej zależności pomiędzy zmiennymi mającymi udział w wyznaczeniu dwóch składowych głównych tworzących analizowaną przestrzeń (Skł. 1 i Skł. 4), zaobserwowano silne zależności pomiędzy zmiennymi: pchnięcie kulą (PK) i rzut dyskiem (RD), skok w dal (SD) i skok wzwyż (SW) oraz najkrótszymi dystansami biegowymi, tj. bieg przez płotki (B110) i 100 metrów (B100). Pozostałe zmienne, ze względu na słabą jakość reprezentacji zmiennych, choć wskazują na powiązania z resztą parametrów, nie zostały uwzględnione w interpretacji. Na końcowy rezultat przedstawiony na płaszczyźnie za pomocą wektora (WYNIK) wpływ miały skok w dal (SD), wspomniane już wcześniej biegi (B100 i B110) m, a także rzuty (PK, RD).

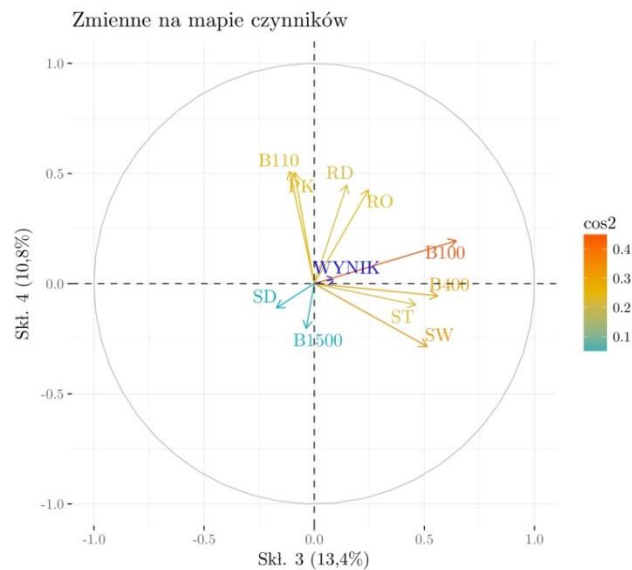
Rozpatrując wektory zmiennych na płaszczyźnie wyznaczonej przez drugą i trzecią składową główną (rycina 79), które objaśniają w sumie 32,1% całkowitej zmienności poddanego analizie PCA materiału badawczego, stwierdzono, że największy udział w tworzeniu obu składowych miała zmienna B400, korelująca dodatnio z parametrem odzwierciedlającym wyniki uzyskiwane w biegu na 1500 metrów. Badając zależności pomiędzy pozostałymi zmiennymi, zauważono również związki pomiędzy skokiem wzwyż (SW) i biegiem na dystansie sprinterskim 100 m (B100), a także z rzutem oszczepem (RO), który dodatnio koreluje z parametrem WYNIK.



Rycina 80. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez drugą i czwartą składową główną (1960–1967)

Projekcja zmiennych biorących udział w wyznaczeniu drugiej i czwartej składowej (rycina 80) pokazuje, że na opisującej w sumie 29,5% całkowitej wariancji, mapie czynników najsilniejsze związki pomiędzy zmiennymi dotyczą biegu przez płotki (B110), pchnięcia kulą

(PK) oraz rzutu dyskiem (RD). Poza tym wektory te nie korelują z rzutem oszczepem (RO), biegiem na 1500 m (B1500) oraz biegiem na 400 m (B400). Nieco słabsze powiązania na rozważanej płaszczyźnie zaobserwowano dla zmiennych biorących największy udział w obliczeniu pierwszej składowej, tj. biegu na 1500 m (B1500), biegu na 400 m (B400) oraz rzutu oszczepem (RO). Pozostałe zmienne ze względu na mały udział w tworzeniu składowych oraz niewielkie znaczenie zostały pominięte w interpretacji (B100, ST, SD oraz SW).



Rycina 81. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez trzecią i czwartą składową główną (1960–1967)

Na płaszczyźnie opisanej przez trzecią i czwartą składową główną (rycina 81) najsilniejsze powiązania pomiędzy zmiennymi, mającymi udział w obliczeniu w sumie 24,2% całkowitej wariancji, zaobserwowano dla biegu przez płotki (B110) i pchnięcia kulą (PK), następnie rzutu dyskiem (RD) i oszczepem (RO), a także biegu na 400 m (B400) i skoku o tyczce (ST). Słabsze i znaczące zależności dla wspomnianego parametru B400 wyznaczono na wykresie dla wektorów przypisanych do danych przechowujących rezultaty metryczne uzyskane w biegu na 100 m (B100) i skoku wzwyż (SW), które wykorzystano do obliczenia rozpatrywanych składowych. Największy udział w utworzonej płaszczyźnie, zatem w obu składowych głównych, miała zmienna B100, a najmniejszy SD (skok w dal) i B1500 (bieg na 1500 m).

3.7. Zmiany poziomu sportowego i struktury wieloboju w kolejnych latach rozwoju mistrzostwa sportowego

3.7.1. Modele teoretyczne kariery zawodniczej

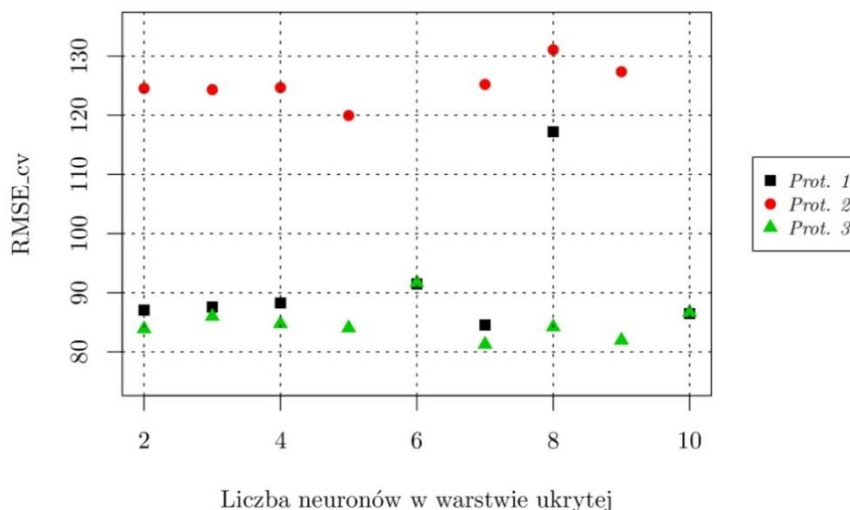
Estymację teoretycznego przebiegu kariery zawodniczej w polskiej i światowej grupie zawodniczej zrealizowano z wykorzystaniem modeli sztucznych sieci neuronowych RBF, zaimplementowanych w języku programowania R.

Głównym zadaniem sieci było oszacowanie średniego poziomu uzyskiwanych wyników końcowych (zmienna zależna) dla zawodników obu analizowanych grup z uwzględnieniem wieku, kolejnych lat treningu oraz okresu przed i po osiągnięciu rekordu życiowego (protokoły badawcze – zmienne niezależne).

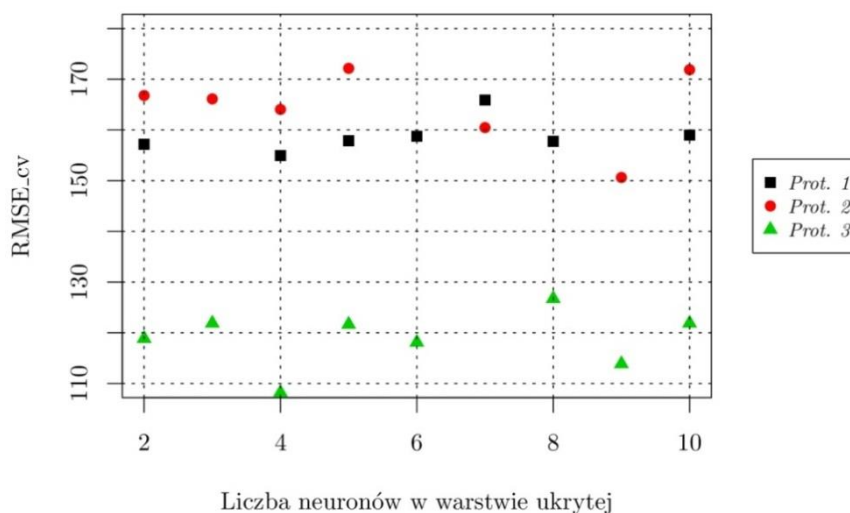
Dane wejściowe, wykorzystane do nauki sieci oraz wygenerowania teoretycznego modelu kariery dziesięcioboju, zawierały uśrednione wyniki sumaryczne wyznaczone w trzech protokołach badawczych dla grup 25 najlepszych zawodników z Polski i świata startujących we współczesnym okresie rozwoju lekkiej atletyki (1985–2015). Charakterystykę tych danych przedstawiono w rozdziale 3.1.

Wyznaczenie najlepszego modelu sieci RBF, realizującej predykcję, wymagało określenia optymalnej liczby neuronów w warstwie ukrytej. Dla każdej badanej grupy zawodników (Polska, świat) oraz analizowanych zmiennych niezależnych, na podstawie różnych konfiguracji modelu, określono wartości błędu średniokwadratowego $RMSE_{cv}$ generowanego przez sieć. Wartości błędów ($RMSE_{cv}$), wyrażone w jednostkach punktowych, wyznaczone w poszczególnych grupach i protokołach badawczych, przedstawiono na rycinach 82–83 oraz tabelach 61–62 (aneks).

W grupie zawodników ze świata (rycina 82) zaobserwowane wartości błędów dla trzech protokołów wskazały na wykorzystanie w implementacji warstwy ukrytej sieci odpowiednio siedmiu neuronów dla protokołu pierwszego ($RMSE_{cv} = 84,55$ pkt.) i protokołu trzeciego ($RMSE_{cv} = 81,26$ pkt.) oraz pięciu neuronów do wygenerowania karier w protokole drugim. Zobrazowane na rycinie 83 błędy wskazywały, że do utworzenia modeli teoretycznych karier polskich dziesięcioboistów, uwzględniających wiek ($RMSE_{cv} = 154,95$ pkt.) oraz okresy przed i po rekordzie życiowym ($RMSE_{cv} = 108,19$ pkt.), należało wykorzystać cztery neurony, podczas gdy model przebiegu kariery zawodniczej w kolejnych latach treningu wymagał zaprogramowania sieci zbudowanej z dziewięciu neuronów (najmniejsza wartość błędu $RMSE_{cv}$ na poziomie 151,62 pkt.) w warstwie ukrytej.



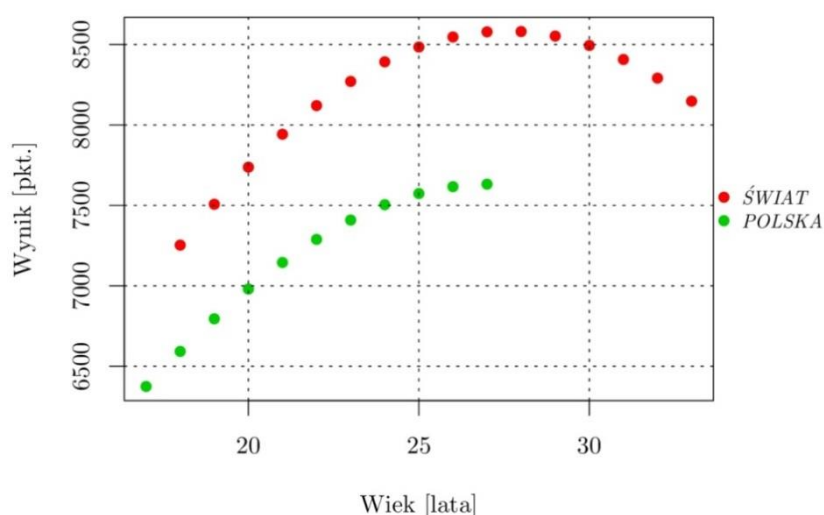
Rycina 82. Wartości błędów w poszczególnych protokołach badawczych dla grupy najlepszych zawodników świata



Rycina 83. Wartości błędów w poszczególnych protokołach badawczych dla grupy najlepszych polskich zawodników

Wynikiem działania sieci RBF, zaprojektowanych dla poszczególnych grup i protokołów badawczych, były przedstawione na rycinach 84–86 modele teoretyczne przebiegu karier wskazujące na poziomy osiągniętych rezultatów końcowych w całej ontogenezie sportowej dziesięcioboistów. Uwzględniając wiek zawodników (rycina 84), zarówno w polskiej jak i światowej grupie wieloboju, zaobserwowano, że estymowane przez sieć poziomy wyników końcowych osiągniętych przez zawodników startujących w Polsce były niższe niż wyniki sumaryczne zawodników z grupy świat. Dodatkowo, w modelu uwidoczniła się różnica pomiędzy grupami dotycząca wieku zawodników, w którym zaczynają oni starty (Polska – 17 lat, świat – 18 lat) oraz roku życia, kiedy decydują się na zakończenie kariery sportowej (Polska – 27 lat, świat – 33 lata). Wśród polskich

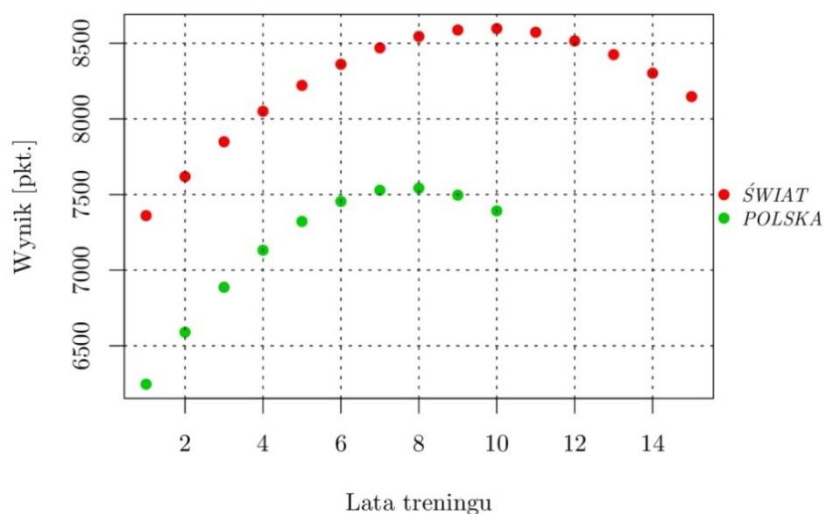
zawodników w całym okresie przewidywanego rozwoju sportowego zaobserwowano ciągły wzrost poziomu osiągniętych wyników, który trwa aż do 27 roku życia zawodników. W tym wieku, według modelu teoretycznego, polscy dziesięciobości powinni odnotowywać najlepsze starty w karierze (wyniki na poziomie około 7632 punktów). Z kolei wśród zawodników grupy świat, teoretycznie, ciągły i dynamiczny wzrost osiągniętych rezultatów powinien trwać do 25 roku życia. Po tym okresie, w kolejnych latach, wyniki zdobywane przez lekkoatletów charakteryzować się mogą pewną stabilnością, trwającą do około 29 roku życia. W tym okresie, w wieku 28 lat, zawodnicy powinni osiągać wyniki na wysokim, rekordowym dla nich poziomie około 8581 pkt.. W kolejnych latach życia u najlepszych dziesięcioboistów ze świata model kariery przewiduje spadek osiągniętych wyników końcowych zdobywanych przez dziesięcioboistów.



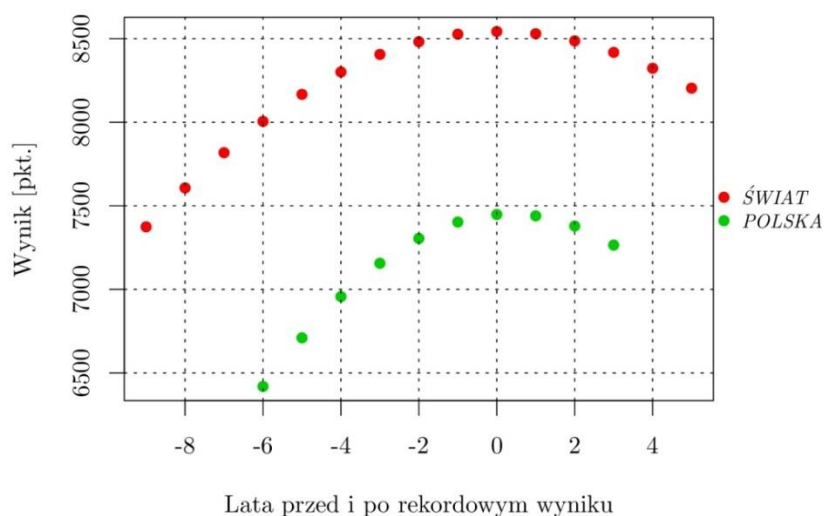
Rycina 84. Przewidywany przebieg kariery dziesięcioboistej w Polsce i na świecie z uwzględnieniem wieku zawodników

Stosunkowo krótsza kariera polskich zawodników uwidacznia się również w modelu teoretycznym określającym finalny rezultat dziesięcioboistów w aspekcie kolejnych lat treningu (rycina 85). Według estymowanego przez siebie schematu przeciętny okres startów polskich wieloboistów wynosi dziesięć lat i jest o sześć lat krótszy od okresu wyznaczonego dla zawodników z grupy światowej. W obu modelach zaobserwowano również okresy: znacznego wzrostu poziomu wyników, stabilizacji oraz obniżania się poziomów osiągniętych rezultatów. W polskiej grupie zawodniczej okres dużej progresji wyniku trwa do szóstego roku startów, natomiast w grupie światowej wynosi on 7 lat. W kolejnych latach treningów, zarówno u Polaków jak i w drugiej grupie dziesięcioboistej zauważalna stabilizacja trwa odpowiednio trzy i pięć lat, podczas których uzyskiwane wyniki kształtują się na poziomie

około 7500 pkt. – Polska oraz 8500 pkt. – świat. Po osiągnięciu rezultatów na poziomie rekordów życiowych w obu grupach odnotowano ciągły spadek poziomu wyniku sportowego, który trwa aż do końca kariery sportowej.



Rycina 85. Przewidywany przebieg kariery dziesięciobojowej w Polsce i na świecie z uwzględnieniem kolejnych lat treningu zawodniczego



Rycina 86. Przewidywany przebieg kariery dziesięciobojowej w Polsce i na świecie z uwzględnieniem lat przed i po rekordzie życiowym zawodników

Na rycinie 86 zobrazowano szacowane przez sieci RBF rezultaty końcowe osiągnięte w okresie przed i bezpośrednio po osiągnięciu przez dziesięcioboistów rekordu życiowego. W obu grupach widoczny był stopniowy postęp zdobywanych wyników trwający aż do momentu osiągnięcia rekordu, który w grupie polskiej wyznaczono na poziomie 7448 punktów, a w grupie świat wynosił on 8543 punktów. Po osiągnięciu wyników na

najwyższym możliwym poziomie w obu grupach, podobnie jak w przypadku wcześniej analizowanych protokołów, widoczny jest spadek osiągniętych rezultatów.

3.7.2. Modele teoretyczne przyrostów punktowych w poszczególnych konkurencjach składowych dziesięcioboju

Sieci o radialnych funkcjach bazowych (RBF) wykorzystano także do oszacowania przyrostów procentowych w każdej konkurencji składowej, wskazujących zawodnikom z przyjętych grup (Polska i świat), w jakim stosunku należy poprawić wyniki w danej konkurencji, aby uzyskać oczekiwany rezultat końcowy w dziesięcioboju. Do wyliczeń sieci wykorzystano odpowiednio przygotowany materiał statystyczny opisujący przebieg karier najlepszych dziesięcioboistów z Polski i świata startujących w latach 1985–2015. Dane zawierały zmienne charakteryzujące wiek i rok kariery zawodnika, wynik aktualny, rekord życiowy oraz najlepszy wynik poprzedniego sezonu. Dodatkowo, w każdym roku kariery wyznaczono przyrosty punktowe we wszystkich dziesięciu konkurencjach składowych uzyskane na podstawie wyników danego i poprzedniego roku. Na wejście sieci RBF (o optymalnej liczbie neuronów w warstwie ukrytej) wprowadzono teoretyczny model przebiegu kariery, który zawierał wiek i rok kariery zawodnika, jego aktualny wynik oraz rekord życiowy, a także oczekiwany rezultat końcowy jaki powinien osiągnąć. W odpowiedzi na zadane parametry przebiegu teoretycznej kariery dziesięciobojojowej, zarówno w polskiej jak i zagranicznej grupie, system ekspertowy miał za zadanie oszacować pożądane przyrosty procentowe prowadzące do uzyskania rezultatu na oczekiwanym poziomie. Wyniki wygenerowane przez sieć RBF prezentują tabele 35–36.

Analizując przyrosty oszacowane dla grupy dziesięciobojojowej ze świata, zaobserwowano, że na początkowym etapie kariery (do 20 roku życia), gdzie od lekkoatletów oczekuje się znacznych postępów w stosunku do aktualnych lub poprzednio uzyskanych wyników we wszystkich konkurencjach składowych, wymagany jest co najmniej kilkunastoprocentowy progres, który prowadzi do zadanej wartości oczekiwanej. Największy wzrost procentowy wyznaczony przez sieć dotyczy konkurencji skoku o tyczce, rzutu dyskiem oraz skoku w dal. Na tym etapie startowym istotne w szkoleniu może okazać się również przygotowanie biegowe do konkurencji sprinterskich (100 m, 110 m przez płotki oraz 400 m), a także przygotowanie siłowe wykorzystywane w rzutach (tabela 35). W późniejszych latach startów, gdzie wyniki powoli ulegają stabilizacji, zauważono mniejsze wartości przyrostów, a w niektórych przypadkach nawet kilkuprocentowe spadki wyników

częstkowych, zwłaszcza w skoku wzwyż, biegu na 400 m oraz biegu na 1500 m, które niwelowane były postępowaniem wyników zdobywanych w innych konkurencjach. W przypadku prognozowanego rekordu życiowego na poziomie 8800 pkt., uzyskanego teoretycznie w dziewiątym roku kariery przy założonym wyniku aktualnym (ok. 8640 pkt.) oraz rekordzie życiowym (8720 pkt.), we wszystkich dziesięciu konkurencjach wymagany był w miarę porównywalny postęp (wzrost rezultatów o kilkanaście procent), z niewielką przewagą punktową obserwowaną w konkurencjach skoku o tycze i rzutu dyskiem (odpowiednio 23% i 20%). Najmniejsze przyrosty, w całym teoretycznym przebiegu kariery, wyznaczono dla biegu na dystansie 1500 m.

Tabela 35. Wartości oczekiwane procentowych przyrostów punktowych dla teoretycznego modelu kariery dziesięciobojowej w grupie świat

Wiek	Kolejne lata treningu	Rezultat oczekiwany	Rekord życiowy (obecny)	Rezultat aktualny	100 m	w dal	kula	wzwyż	400 m	110 m	dysk	tyczka	oszczep	1500 m
18	2	7700	7500	7300	26	46	30	24	31	40	48	71	25	15
19	3	8000	7850	7700	19	38	22	15	22	23	32	49	21	11
20	4	8200	8100	8000	10	22	15	5	10	13	18	28	13	4
21	5	8300	8250	8200	0	4	6	-5	-2	5	5	10	2	-5
22	6	8400	8350	8300	1	2	7	-2	-3	7	6	7	2	-4
23	7	8600	8500	8400	15	16	18	13	10	19	21	24	15	9
24	8	8640	8620	8600	-4	-8	2	-5	-6	3	4	3	-4	-5
25	9	8800	8720	8640	10	11	17	11	8	13	20	23	14	8
26	10	8800	8800	8800	-8	-10	2	-6	-6	-4	4	5	-4	-6
27	11	8800	8800	8800	-8	-6	2	-7	-4	-8	5	7	-3	-5

Tabela 36. Wartości oczekiwane procentowych przyrostów punktowych dla teoretycznego modelu kariery dziesięciobojowej w polskiej grupie

Wiek	Kolejne lata treningu	Rezultat oczekiwany	Rekord życiowy (obecny)	Rezultat aktualny	100 m	w dal	kula	wzwyż	400 m	110 m	dysk	tyczka	oszczep	1500 m
18	2	7200	7125	7050	41	52	33	53	52	2	8	97	31	8
19	3	7350	7275	7200	30	50	27	45	49	5	6	69	26	8
20	4	7500	7425	7350	20	43	23	34	40	11	9	47	23	9
21	5	7600	7550	7500	10	25	17	19	21	6	9	25	13	3
22	6	7700	7650	7600	7	18	15	11	13	10	14	16	13	3
23	7	7850	7775	7700	10	19	19	6	16	21	20	17	17	9
24	8	8050	7950	7850	13	21	20	2	20	24	21	21	15	12
25	9	8200	8125	8050	7	7	10	-7	8	-2	8	10	-3	0
26	10	8200	8200	8200	-9	-19	-9	-20	-16	-37	-11	-16	-25	-23

W polskiej grupie dziesięciobojowej, na podstawie zakładanego przebiegu kariery oraz oczekiwanych rezultatów końcowych, wygenerowane przez sieć RBF odpowiednie przyrosty procentowe dla każdej z konkurencji składowych zamieszczono w tabeli 36. Na jej podstawie stwierdzono, że w kolejnych latach trwania kariery, aż do momentu uzyskiwania wyników na najwyższym poziomie do osiągnięcia z góry założonego rezultatu oczekiwanego wymagany jest ciągły postęp, który odbywać się musi we wszystkich dziesięciu konkurencjach. Największymi wymaganymi przyrostami charakteryzował się początek kariery zawodniczej

i dotyczył on, podobnie jak w grupie zawodników ze świata, przede wszystkim konkurencji skoku o tyczce, jak również pozostałych dwóch konkurencji skocznościowych, tj. skoku wzwyż i skoku w dal, a ponadto biegu na 400 m. Na późniejszym etapie startów (od 21 roku życia) dla powyższych konkurencji maleją stopniowo wartości wymaganych przyrostów, a uzyskanie sumarycznego wyniku końcowego na oczekiwanym poziomie możliwe było dzięki poprawie uzyskiwanych rezultatów w pozostałych składowych, głównie w rzutach (pchnięcie kulą oraz rzut dyskiem) oraz biegu przez płotki. W polskiej grupie wieloboju, według modelu zaproponowanego przez sieć RBF, najmniej wymagająca pod względem rozwoju wyniku okazała się konkurencja biegu na 1500 m.

4. DYSKUSJA

Analiza wpływu poszczególnych konkurencji na końcowy wynik w dziesięcioboju wskazuje na istotne zmiany, zarówno w aspekcie historycznym (trzy okresy analizy) oraz w odniesieniu do poszczególnych etapów mistrzostwa sportowego. W każdym z badanych okresów oraz grupach uwidocznił się odmienny charakter dziesięcioboju ewoluujący w kolejnych latach w zależności od udziału i wpływu poszczególnych konkurencji składowych na rezultat końcowy. Przemiany zachodzące w obrębie wewnętrznej struktury dziesięcioboju były również zauważalne na każdym z czterech rozpatrywanych etapów rozwoju zawodniczego. Ze względu na rozpiętość czasową badanego okresu historii lekkoatletycznego dziesięcioboju, warto porównać ze sobą otrzymane, w toku analiz, wyniki i odnieść je do istniejącej wiedzy w tym zakresie.

4.1. Analiza porównawcza zmian poziomu wyników lekkoatletycznego dziesięcioboju oraz wyników cząstkowych w trzech okresach rozwoju lekkiej atletyki

Do określenia optymalnego wieku mistrzostwa sportowego, w którym zawodnicy uzyskują najlepsze wyniki, konieczne było zbadanie zmian, jakie dokonały się na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat w rozwoju wyniku sportowego w lekkoatletycznym dziesięcioboju. W tym celu posłużono się przyjętymi protokołami badawczymi, w których uwzględniono czynniki determinujące poziom wyniku sportowego takie, jak wiek zawodnika, kolejne lata treningu oraz okres poprzedzający i następujący po osiągnięciu najwyższego rezultatu.

Na podstawie szczegółowo przeprowadzonej analizy średnich wyników końcowych w dwóch rozpatrywanych grupach (Polska i świat) i przyjętych okresach, podjęto próbę odpowiedzi na postawione wcześniej pytania badawcze dotyczące optymalnego wieku mistrzostwa sportowego. Analizując najwyższe średnie wyniki przyporządkowane w przyjętych protokołach w grupie najlepszych dziesięcioboistów świata od 1960 do 2015 roku, obserwuje się ciągły postęp wyników zdobywanych w tej wymagającej konkurencji. Uwzględniając wiek zawodników, w grupie startującej współcześnie, najwyższe wyniki na średnim poziomie 8603 punktów osiągnęto w 27 roku życia. W tym samym roku życia najlepsze wyniki (średnio 8314 pkt.) zdobywali czołowi dziesięciobości z okresu 1968–1984. Pierwsze, zarejestrowane w bazie danych w okresie 1985–2015, starty miały miejsce już w wieku 16 lat, podczas gdy karierę kończyli zawodnicy mający nawet 38 lat, jak np. startujący przez 22 lata Roman Šebrle (IAAF, 2016). Przeciętna kariera zawodnicza w tej

grupie trwała 15 lat, a najwyższe wyniki przypadły w dziesiątym roku startów (8555 pkt.), podczas gdy w pozostałych grupach świata okres dochodzenia do rekordowych, lecz słabszych, rezultatów przypadał na wcześniejsze lata startów (1968–1984 – 7 rok, 1960–1967 – 9 rok). Analizując średnie wyników sumarycznych w trzecim protokole we współczesnej grupie najlepszych lekkoatletów, stwierdzono, że przeciętny okres dochodzenia do rekordów życiowych, które kształtowały się na poziomie 8735 punktów, wynosił około 8 lat. W tym okresie nastąpił ok. 19% postęp w stosunku do pierwszego uwzględnionego w protokole wyniku. Po osiągnięciu najlepszych wyników, we wszystkich grupach, uwidocznił się okres postępującego obniżania się rezultatów, który trwał średnio około 6 lat (1985–2015), aż do momentu zakończenia kariery.

W grupie polskich dziesięcioboistów, która w analogicznych okresach analizy osiągała dużo słabsze rezultaty w odniesieniu do grupy świat, zauważono również, że w ostatnich latach (1985–2015) konkurencja ta przeżywa regres, który potwierdzają wyznaczone średnie w trzech protokołach badawczych (tabele 8–9). Zbyt krótkie kariery polskich zawodników, trwające około 10 lat i kończące się średnio w 27 roku życia, nie pozwoliły również na przeprowadzenie jakiegokolwiek analizy z uwzględnieniem 4 etapu rozwoju kariery sportowej (powyżej 30 roku życia). Uwzględniając wiek polskich zawodników, zaobserwowano, że w kolejnych latach życia, aż do momentu zakończenia kariery (27 lat), następował ciągły postęp osiąganych rezultatów końcowych dziesięcioboju, które kształtowały się na najwyższym, jednakże niższym niż we wcześniejszym badanym okresie, średnim poziomie ok. 7729 punktów. Z kolei w kolejnych latach kariery (protokół 2), w obu okresach (1985–2015 oraz 1968–1984), najwyższe wyniki osiągnęto w 9 roku startów (odpowiednio 7544 pkt. oraz 7724 pkt.). Badając średnie w protokole trzecim, zarówno w grupie współczesnej jak i wcześniejszej, wyznaczono analogiczne 6 letnie okresy dochodzenia do rekordu życiowego, który wynosił średnio ok. 7652 punkty (1985–2015) oraz 7710 punktów (1968–1984), po którym następował ciągły spadek wyników trwający ok. 3 lat.

Analizując postęp jaki dokonał się w poszczególnych konkurencjach składowych lekkoatletycznego dziesięcioboju, stwierdzono, że istnieją istotne statystycznie różnice w wynikach cząstkowych osiąganych przez zawodników z badanych grup i okresów (tabele 11–12). We współczesnych grupach dziesięciobojowych (Polska i świat 1985–2015) wykazano istotne statystycznie różnice pomiędzy wynikami metrycznymi, osiąganymi w grupach dla niemal wszystkich konkurencji oprócz biegu na 1500 m, a w przypadku analizy punktowej, we wszystkich składowych badanego wieloboju. Porównując wartości średnie wyników metrycznych dla konkurencji cząstkowych w przyjętych okresach,

stwierdzono, że w grupie światowej na przestrzeni kilkudziesięciu lat w większości konkurencji dziesięciobojowych, dokonał się, trwający do dziś, widoczny postęp w poziomach osiągniętych rezultatów. Wyjątek stanowią tu konkurencje biegu na 1500 m i rzutu oszczepem, gdzie zaobserwowany progres dotyczył okresu 1968–1984, po którym w wymienionych konkurencjach nastąpił regres. Analizując grupę polskich lekkoatletów startujących w latach 1968–1984 oraz 1985–2015, stwierdzono, że wyniki zdobywane współcześnie są niestety gorsze i dotyczą większości konkurencji składowych. Brak postępu w większości biegów (z wyjątkiem biegu przez płotki) czy rzutów (oprócz rzutu dyskiem), a także w skoku w dal potwierdza wcześniejsze stwierdzenie o regresie polskiego dziesięcioboju.

4.2. Analiza porównawcza zmian struktury lekkoatletycznego dziesięcioboju z uwzględnieniem trzech okresów rozwoju lekkiej atletyki

Uwzględniając zmiany w strukturze współczesnego dziesięcioboju na świecie, jakie dokonały się na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat w odniesieniu do wcześniejszych przyjętych w pracy okresów historii lekkiej atletyki (1960–1967 oraz 1968–1984), należy zwrócić uwagę na wzrost znaczenia konkurencji szybkościowych rozgrywanych pierwszego dnia zawodów (110 m ppł., skok w dal i 400 m), zdecydowaną obniżkę wpływu konkurencji rzutowych (pchnięcie kulą, rzut dyskiem) i biegu na 1500 m oraz utrzymanie znaczenia konkurencji technicznych, jak rzut oszczepem czy skok o tyczce (tabela 21). W polskim, współczesnym dziesięcioboju zmiany wpływu poszczególnych składowych na finalny wynik były w większości przypadków niewielkie w porównaniu z wcześniejszym analizowanym okresem (tabela 21). Największy wzrost znaczenia uwidocznił się dla konkurencji biegu na dystansie 100 m ($r_{xy} = -0,75$), a największy spadek dotyczył biegu na 1500 m. Podobnie jak w grupie świat, istotne dla sumarycznego rezultatu okazały się konkurencje o charakterze szybkościowym, jak skok w dal, biegi na 100 m, 400 m i przez płotki, a także pchnięcie kulą ($r_{xy} = 0,73$), skok o tyczce ($r_{xy} = 0,73$) oraz rzut oszczepem ($r_{xy} = 0,69$). Podobne zależności zauważono we wcześniejszych publikacjach związanych ze strukturą dziesięcioboju (Higgins, 1989).

Niewielkie i stosunkowo porównywalne wartości współczynników korelacji liniowej Pearsona, wyznaczone dla danych dotyczących okresu 1960–1968, nie pozwalały na jednoznaczne wskazanie, która ze składowych miała największy wpływ na ostateczny wynik końcowy. Może to świadczyć o tym, że badana grupa zawodników była wszechstronnie

uzdolniona i reprezentowała wysoki, równy poziom we wszystkich lub w dużej części konkurencji składowych, o czym pisał Socha (1977).

Na przewagę udziału konkurencji szybkościowych w końcowym rezultacie zwrócił uwagę m.in. Socha (1977), który wyznaczył wartości korelacji Pearsona pomiędzy składowymi dziesięcioboju a wynikiem sumarycznym wśród 98 najlepszych zawodników świata startujących w latach 70-tych (tj. do roku 1973). Według przeprowadzonych przez niego badań największe związki z wynikiem dotyczyły biegu na 400 m ($r_{xy} = 0,50$), skoku w dal ($r_{xy} = 0,49$) oraz biegu na 100 m ($r_{xy} = 0,49$).

Do podobnych wniosków doszedł także Furdal (1986), który po przeanalizowaniu wyników osiągniętych przez grupę 158 dziesięcioboistów startujących w latach 1980–83, stwierdził, że większy wpływ na wynik mają konkurencje o charakterze motorycznym, takie jak: skok w dal ($r_{xy} = 0,66$), bieg na 400 m ($r_{xy} = 0,54$), czy pchnięcie kulą ($r_{xy} = 0,54$).

Zmiany wpływu poszczególnych konkurencji składowych na wynik końcowy dziesięcioboju zachodzące na przestrzeni dziesięciolecia 1976–1985, uwidoczniły się również w pracy Iskry (1990). Wyznaczone przez autora współczynniki korelacji, dla wyników osiągniętych przez czołowych zawodników świata z 1984 i 1976 roku, wskazywały na znacznie większy wpływ konkurencji skoku w dal ($r_{xy} = 0,68$), pchnięcia kulą ($r_{xy} = 0,49$), biegu na 400 m ($r_{xy} = 0,46$) oraz biegu przez płotki ($r_{xy} = 0,54$) na finalny wynik dziesięcioboju niż miało to miejsce w 1976 roku, gdzie dominowały konkurencje rzutowe zwłaszcza rzut oszczepem ($r_{xy} = 0,48$), rzut dyskiem ($r_{xy} = 0,44$), jak również bieg na 400 m ($r_{xy} = 0,45$) i bieg przez płotki ($r_{xy} = 0,42$).

Znaczenie poszczególnych wyników cząstkowych na sumaryczny rezultat w trzech kolejnych cyklach olimpijskich (1985–1996) był tematem zainteresowań Walaszczyk (1998), która przeanalizowała 50 rocznych najlepszych wyników uzyskanych przez wieloboistów. W pierwszym cyklu (1985–1988), określonym jako okres biegowy (szybkościowo-wytrzymałościowy), autorka podkreśliła duże znaczenie konkurencji szybkościowych, zwłaszcza skoku w dal ($r_{xy} = 0,40$), biegu na 400 m ($r_{xy} = 0,40$) oraz biegów na 1500 m i 100 m. Z kolei w kolejnym cyklu, nazwanym technicznym lub techniczno-siłowym (lata 1989–1992), wyznaczone wartości korelacji wskazywały, że najbardziej znaczące były skok w dal ($r_{xy} = 0,54$), bieg na 110 i skok o tyczce ($r_{xy} = 0,37$), jak również rzut dyskiem, skok wzwyż i pchnięcie kulą. W ostatnim cyklu olimpijskim, zdefiniowanym jako techniczno-szybkościowy (1993–1996), autorka wskazuje na największe znaczenie konkurencji rzutu oszczepem ($r_{xy} = 0,56$), skoku w dal ($r_{xy} = 0,44$) i biegu przez płotki ($r_{xy} = 0,43$), a także rzutu dyskiem ($r_{xy} = 0,40$) i biegu na 100 m ($r_{xy} = 0,40$). Pomimo, że w każdym wyznaczonym

przez Walaszczyk cyklu olimpijskim wpływ poszczególnych konkurencji na wynik końcowy zmieniał się, to we wszystkich analizowanych okresach duże znaczenie miały właśnie konkurencje o charakterze szybkościowym.

Ważnym aspektem treningu dziesięcioboju, z praktycznego punktu, jest łączenie jednostek treningowych w zależności od poziomu wzajemnych powiązań pomiędzy konkurencjami cząstkowymi. Wyznaczone zależności, pomiędzy wszystkimi konkurencjami w trzech przyjętych okresach rozwoju polskiego i światowego dziesięcioboju, wskazują na liczne istotne statystycznie (z $p < 0,01$ oraz $p < 0,05$) związki. We wszystkich badanych okresach oraz grupach zawodniczych najsilniejsze związki pomiędzy konkurencjami dotyczyły pchnięcia kulą oraz rzutu dyskiem, co potwierdzają wyniki wcześniej publikowanych prac z tego zakresu (Furdal, 1986; Iskra, 1990; Socha, 1977; Walaszczyk, 1998). Największe wartości korelacji, dla wspomnianych wyżej konkurencji rzutowych, wyznaczone przez Sochę (1977), kształtowały się na poziomie $r_{xy} = 0,56$. Furdal (1986), natomiast określił tę zależność jako $r_{xy} = 0,61$, u Iskry (1990) wynosiła $r_{xy} = 0,54$, a w trzech kolejnych cyklach olimpijskich badanych przez Walaszczyk (1998) odpowiednio $r_{xy} = 0,59$; $0,58$; $0,76$. Dodatkowo, w grupie najlepszych zawodników świata startujących współcześnie (1985–2015), uwidocznił się związek pomiędzy przygotowaniem biegowym do konkurencji 100 m a pozostałymi konkurencjami sprinterskimi, jak bieg na 400 m ($r_{xy} = 0,61$) czy 110 m ppł. ($r_{xy} = 0,58$), na co zwrócili również uwagę Furdal (1986) i Walaszczyk (1998) oraz w skoku w dal. Zależność pomiędzy biegami na 100 i 400 metrów potwierdzają również wyniki analiz przeprowadzonych przez Sochę (1977) – $r_{xy} = 0,45$, Furdala (1986) – $r_{xy} = 0,59$ oraz Iskry (1990) – $r_{xy} = 0,60$. Podobne zależności wyznaczono również dla grupy polskich zawodników, gdzie oprócz wspomnianych już rzutów, istotne okazały się związki biegu na 100 m i skoku w dal oraz dystansu 400 m ($r_{xy} = 0,64$). Wobec powyższego, po raz kolejny, uwidacznia się wzrost znaczenia zdolności szybkościowych w ogólnym charakterze nowoczesnego dziesięcioboju.

W obu grupach najmniej liczne związki z innymi składowymi wyznaczono dla konkurencji biegu na dystansie 1500 m, która ze względu na swoją specyfikę (charakter wytrzymałościowy) jest trudna do wkomponowania w proces szkoleniowy dziesięcioboisty (Dziadek, Iskra, Przednowek, 2016; Walaszczyk, Iskra, 2002). Warto w tym miejscu zaznaczyć jednak wzajemny wpływ wyników zdobywanych w konkurencji biegu na dystansie 400 m i 1500 m, który był zauważalny w grupie polskich zawodników (1985–2015) oraz we wcześniejszych okresach w obu grupach.

4.3. Analiza porównawcza struktury lekkoatletycznego dziesięcioboju z uwzględnieniem etapów rozwoju kariery sportowej

Ze względu na liczbę konkurencji składowych dziesięcioboju, których znaczenie może się zmieniać w czasie całej ontogenezy sportowej (Nowak, 1989) oraz trudność realizacji wieloetapowego procesu treningowego, zasadne jest, aby w rozważaniu nt. struktury lekkoatletycznego dziesięcioboju uwzględnić również poszczególne etapy rozwoju kariery zawodniczej. Dlatego też w pracy zostały obliczone wartości średnie wyników końcowych i wyników cząstkowych oraz zależności pomiędzy wszystkimi konkurencjami składowymi, wraz z ich wpływem na wynik sumaryczny w czterech etapach kariery (juniora, młodzieżowca, mistrza oraz okresu obniżenia wyników).

Wprowadzenie etapów rozwoju kariery zawodniczej w poszczególnych grupach oraz okresach umożliwiło prześledzenie zmian osiągniętych wyników zachodzących w każdej z dziesięciu składowych. Na podstawie tabel 14–20 dokonano porównania wyników zdobytych współcześnie w Polsce i na świecie z wynikami uzyskanymi w pozostałych okresach historii lekkiej atletyki. Przyjmując jako punkt odniesienia najbardziej reprezentatywny etap ontogenezy sportowej dziesięcioboistów, tj. etap mistrzostwa sportowego, stwierdzono, że w większości badanych okresów i grup zawodnicy będący w wieku od 24 do 30 lat uzyskiwali najlepsze średnie wyniki w prawie każdej konkurencji składowej, za wyjątkiem konkurencji biegu na 1500 w grupie świat startującej w latach 1985–2015 i 1960–1967, gdzie średnie wyników czasowych lub punktowych były niższe w stosunku do etapu poprzedzającego. Z kolei na IV etapie kariery w bardzo wielu przypadkach odnotowano spadki większości, a nawet wszystkich, średnich wyników osiągniętych w konkurencjach cząstkowych. Konkurencjami, w których zaobserwowano progres na ostatnim etapie kariery, były m.in. pchnięcie kulą (świat 1985–2015, 1960–1967), rzut dyskiem i bieg przez płotki (świat 1960–1967). Wyniki polskich dziesięcioboistów, uzyskiwane do trzeciego etapu rozwoju kariery (oba badane okresy), wskazywały, na ciągły postęp odbywający się we wszystkich konkurencjach składowych, a etap mistrzostwa charakteryzował się wynikami na najwyższym poziomie. Wyjątek stanowiły tu wyniki uzyskiwane przez zawodników startujących w latach 1968–1984 w biegu na 110 m ppł. oraz rzucie oszczepem, gdzie najlepsze rezultaty w tych konkurencjach osiągnęli oni dopiero na ostatnim etapie ontogenezy sportowej. Porównując średnie rezultaty uzyskane na trzecim etapie rozwoju polskich dziesięcioboistów, zauważa się, że zawodnicy startujący współcześnie mają lepsze wyniki w skokach, pchnięciu kulą oraz biegu na 110 m przez

plotki, podczas gdy w pozostałych konkurencjach osiągnęli wyniki słabsze niż w latach ubiegłych (1968–1984).

Na podstawie wyników przedstawionych w rozdziale 3.5 (tabele 28–29) oraz dodatkowych obliczeń dokonano porównania wpływu poszczególnych konkurencji składowych na końcowy wynik dziesięcioboju. Analiza porównawcza obejmowała obie grupy zawodnicze, przyjęte okresy historii lekkoatletycznego dziesięcioboju oraz cztery etapy rozwoju kariery zawodniczej (tabele 39–40 – aneks).

W grupie najlepszych 25 zawodników świata na początkowych dwóch etapach rozwoju, tj. do 23 roku życia, zauważyć można, że znaczący wpływ na wynik końcowy miały wszystkie konkurencje składowe. Na pierwszym etapie dominowały głównie konkurencje szybkościowe, biegi na 110 m ppł. ($r_{xy} = -0,83$), 400 m ($r_{xy} = -0,75$) i skok w dal ($r_{xy} = 0,78$) oraz siłowe, tj. rzut dyskiem (0,73) oraz pchnięcie kulą ($r_{xy} = 0,71$), których znaczenie w następnym etapie maleje na rzecz konkurencji wyłącznie szybkościowych. Badając współczesne i wcześniejsze okresy rozwoju dziesięcioboju, warto wspomnieć o wyraźnej degradacji znaczenia takich konkurencji, jak skok wzwyż ($r_{xy} = 0,99$ w pierwszym okresie i 0,39 w ostatnich latach) oraz rzut oszczepem ($r_{xy} = 0,92$ w latach 1960–67 i 0,55 w latach 1985–2015). Powyższe obserwacje potwierdzają również publikacje dotyczące ostatniej aktualizacji tabel wielobojowych (Tidow, 1989; Furdal, 1989; Iskra, 1988). Analiza przeprowadzona na etapie mistrzostwa wykazała, że największy wpływ na końcowy wynik mają czasy biegów na 100 i 400 m ($r_{xy} = -0,58$ i $-0,63$) oraz wyniki skoku w dal ($r_{xy} = 0,64$). Brak zależności wyników w rzucie dyskiem oraz biegu na 1500 m a końcowym rezultatem punktowym. Z kolei na ostatnim etapie najsilniejsze oddziaływanie na wynik mają konkurencje dominujące w etapie mistrzostwa, gdzie dodatkowo nieistotna okazała się konkurencja skoku wzwyż. W drugiej grupie dziesięcioboistów, osiągających rekordy życiowe na niższym poziomie, na początkowych etapach karier nieistotne okazały się wyniki osiągnięte w konkurencji skoku w dal (etap I) oraz biegu na 1500 m (etap I i II). Dodatkowo, największy wpływ na wynik miały wszystkie konkurencje rzutowe, biegi na dystansach sprinterskich oraz konkurencje techniczne (skok wzwyż oraz skok o tyczce).

W polskiej grupie dziesięciobojowej, z powodu zbyt krótkich karier zawodniczych, analizie poddano wyłącznie trzy pierwsze etapy ontogenezy sportowej. W pierwszym etapie szkolenia wyniki uzyskiwane w niemal wszystkich konkurencjach składowych miały znaczący wpływ na wynik sumaryczny, z wyjątkiem biegu na 1500 m, który dopiero w kolejnych etapach zyskał na znaczeniu. Na podstawie wyników dotyczących II i III etapu nie można jednoznacznie wyróżnić dominujących konkurencji wpływających na końcowy

rezultat, dlatego też polskich dziesięcioboistów można określić jako typ wszechstronny, który został również zdefiniowany w pracach Bilić (2015) oraz autorów Stemmler'a i Bäumlner'a (2005) w odniesieniu do zawodników osiągających doskonałe wyniki w konkurencjach sprinterskich, skokach, rzutach oraz konkurencjach wytrzymałościowych.

Wyznaczone wartości korelacji liniowej Pearsona z uwzględnieniem etapów rozwoju kariery zestawiono w tabelach (tabele 55–60) celem dokonania analizy porównawczej zmian zależności zachodzących pomiędzy konkurencjami składowymi w trzech badanych okresach oraz w polskiej i zagranicznej grupie zawodniczej. Na podstawie wyników dotyczących startów współczesnych dziesięcioboistów ze świata stwierdzono, że na pierwszym etapie (do 19 roku życia) istotne związki dotyczyły głównie konkurencji biegowych (zwłaszcza konkurencji biegu przez płotki z dystansem 100 i 400 m), a także skoku w dal. Warto również zwrócić uwagę na istotną ($p < 0,01$) zależność pchnięcia kulą z biegiem przez płotki i biegiem na 400 m, które wynosiły odpowiednio $r_{xy} = -0,71$ i $r_{xy} = -0,57$. Zarówno w pierwszym, jak i kolejnych etapach (tj. do 30 roku życia), wyraźnie zaznacza się zależność pomiędzy wynikami osiąganymi pomiędzy pchnięciem kulą a rzutem dyskiem, która wynosi powyżej 0,60 i dopiero w końcowym etapie kariery staje się nieistotna statystycznie. Podobne związki, opisujące te dwie konkurencje rzutowe, zaobserwowano we wcześniejszych dwóch analizowanych okresach, przy czym w latach 1968–1984 dotyczyły one całej ontogenezy sportowej dziesięcioboistów. Od 20 roku życia do końca kariery zauważono istotne i coraz silniejsze związki pomiędzy konkurencjami szybkościowymi. Dotyczy to zwłaszcza wyników uzyskiwanych na dystansie 100 m z biegami na 400 m, a także przez płotki oraz w skoku w dal (etap młodzieżowca i mistrzostwa sportowego). Ponadto, na ostatnim etapie bieg na 100 m dodatkowo koreluje z konkurencją skoku o tycze, która ma także związek z biegiem na 400 m. U współczesnych dziesięcioboistów, do końca etapu mistrzostwa, istotne statystycznie okazały się również zależności wyników czasowych w konkurencjach biegu na 400 m z biegiem na dystansie 1500 m, co można również zauważyć analizując wartości korelacji dla okresu 1968–1984 i częściowo (etapy III i IV) w latach 1960–1967.

W polskiej grupie dziesięcioboistów, startujących współcześnie, początek kariery charakteryzuje się dużą współzależnością wyników uzyskiwanych w biegu na 100 m z pozostałymi konkurencjami składowymi dziesięcioboju, z wyjątkiem skoku wzwyż oraz biegu na 1500 m (tabela 59). Najsilniejsze związki ze sprintem na tym dystansie dotyczyły konkurencji skoku w dal ($r_{xy} = -0,72$), 400 m ($r_{xy} = 0,71$), tyczki oraz pozostałych, które wykazywały nieco słabsze zależności. Podobnie jak w grupie zawodników ze świata, na etapach od I do III, istotne i znaczące z praktycznego punktu widzenia mogą okazać się

związki pomiędzy konkurencjami rzutu dyskiem oraz pchnięcia kulą, które wykorzystać można podczas procesu treningowego. Podobne zależności na poziomie istotności $p < 0,01$ zostały wyznaczone w tych samych okresach rozwojowych dla wyników opisujących polski dziesięciobój w latach 1968–1984. Ponadto, oprócz typowych dla współczesnego wieloboju zależności pomiędzy konkurencjami szybkościowymi (100 m, skoku w dal, 400 m i 110 m ppł.), znaczące we wspomnianych trzech pierwszych etapach rozwoju są związki pomiędzy wynikami zdobywanymi w konkurencji biegu na 1500 m z biegiem na dystansie 400 m, które w polskiej grupie dziesięciobojowej kształtowały się na poziomie powyżej 0,50.

4.4. Porównanie wyników analiz wielowymiarowych w badaniach nad strukturą dziesięcioboju

Analizy wielowymiarowe wykorzystywane do poszukiwania wewnętrznej struktury dziesięciobojowej były stosowane już w latach ubiegłych, o czym wspomniano w rozdziale dotyczącym badań naukowych (rozdział 1.2). Szczególnie popularna wśród naukowców była analiza czynnikowa, mająca na celu redukcję liczby zmiennych opisujących lekkoatletyczny dziesięciobój, poprzez zdefiniowanie nowych czynników opisujących znaczące dla konkurencji związki pomiędzy zmiennymi.

W niniejszej pracy, do zbadania wewnętrznej struktury lekkoatletycznego dziesięcioboju w przyjętych grupach zawodniczych i okresach rozwoju lekkiej atletyki, zastosowano metodę analizy składowych głównych (PCA), którą scharakteryzowano w metodach badawczych (rozdział 2.4.3), a otrzymane, w wyniku jej zastosowania, rezultaty zaprezentowano w rozdziale 3.6. Na podstawie obliczonych w programie R wartości własnych składowych głównych oraz stosując przyjęte kryterium Kaisera, dla każdej z grup zawodniczych startujących w badanych okresach dobrano odpowiednią liczbę składowych, które poddano dalszej interpretacji. W celu zdefiniowania i porównania składowych głównych otrzymane wyniki dotyczące ich struktury i poziomu, opisywanej przez składowe wariacje, umieszczono w tabelach 37–38.

Dla grupy dziesięcioboistów startujących współcześnie (1985–2015) w interpretacji wykorzystano trzy pierwsze składowe główne, opisujące w sumie co najmniej 65% zmienności danych, opisujących przebieg karier dziesięciobojowych. W każdej z analizowanych grup pierwsza, opisująca największą część wariacji, składowa miała charakter szybkościowo-siłowy, gdzie dominowały głównie konkurencje szybkościowe, a więc biegi na dystansach sprinterskich (100, 400 i 110 m ppł.) i skok w dal, a także konkurencje siłowe, tj. pchnięcie kulą, rzut dyskiem oraz skok o tycze.

Tabela 37. Porównanie wyników analizy PCA w światowej grupie dziesięciobojowej

Okres	Grupa	Liczba skl.	Nr skl.	Poziom wariacji	Struktura		NAZWA
					Zmienna	Udział	
1985-2015	1-25	3	1	41,53%	B110 SD B400 PK B100 RD ST	15,68% 13,63% 13,51% 11,96% 11,87% 11,42% 10,51%	Składowa szybkościowo-siłowa
			2	14,45%	B1500 RD PK	43,72% 20,79% 18,90%	Składowa siłowy i wytrzymałościowa
			3	10,43%	SW RO B100	41,43% 23,67% 20,28%	Składowa szybkościowa
	26-50	3	1	39,95%	B110 B100 B400 ST RD PK	15,71% 14,29% 12,71% 12,37% 11,58% 10,93%	Składowa szybkościowo-siłowa
			2	14,62%	B1500 PK B400 RD	28,50% 23,80% 18,70% 17,01%	Składowa siłowy i wytrzymałościowa
			3	11,00%	B1500 RO SD B100	26,38% 25,99% 23,74% 10,87%	Składowa bliżej nieokreślona
1968-1984	1-25	3	1	42,69%	PK ST SD B110 RD B400	17,35% 13,22% 12,38% 12,11% 12,09% 10,62%	Składowa siłowo-szybkościowa
			2	14,65%	B100 B400 SW	45,14% 14,95% 10,98%	Składowa szybkościowa
			3	11,01%	RO B1500 RD SW	26,59% 24,99% 15,52% 12,81%	Składowa bliżej nieokreślona
1968-1984	26-50	4	1	31,37%	B400 B110 RD ST SD PK B100	17,68% 13,64% 13,03% 12,85% 11,86% 11,80% 10,29%	Składowa szybkościowo-siłowa
			2	18,15%	B1500 PK RD RO SW	27,40% 20,29% 16,71% 14,80% 13,12%	Składowa wytrzymałościowa i rzutna
			3	12,20%	B100 RO ST	37,46% 30,43% 22,80%	Składowa szybkościowo-techniczna
			4	10,16%	SD SW B1500 B400	34,22% 20,41% 19,41% 15,16%	Składowa siły eksplozywnej i wytrzymałościowa

1960-1967	1-25	4	1	25,30%	PK RD SD B100 B110	18,74% 17,71% 15,90% 14,70% 10,35%	Składowa siłowo-szybkościowa
			2	18,69%	B1500 B400 RO	32,43% 26,81% 22,21%	Składowa wytrzymałościowa
			3	13,40%	B100 B400 SW ST	31,07% 23,43% 19,64% 15,90%	Składowa szybkościowa
			4	10,81%	B110 PK RD RO	23,99% 23,60% 18,52% 16,78%	Składowa siłowo-techniczna

Z kolei w budowie drugiej składowej (opisującej ponad 14% zmienności), w każdej grupie, największym udziałem wyróżniała się zmienna odpowiadająca konkurencji biegu na 1500 m oraz 400 m (oprócz grupy 25 najlepszych zawodników świata), nadając tej składowej charakter wytrzymałościowy. Dodatkowo, w strukturze drugiej składowej, głównie w grupie 50 zawodników świata, znaczące okazały się zmienne dotyczące rzutu dyskiem oraz pchnięcia kulą, stąd ogólny charakter tej składowej został określony jako siłowa i wytrzymałościowa. Znaczenie konkurencji siłowych i szybkościowych w dziesięcioboju potwierdzają również badania przeprowadzone przez Heazlewood'a i in. (2014), którzy na podstawie wyodrębnionych 5 składowych (70% całkowitej wariancji), w pierwszym czynniku dominującą rolę w strukturze przyporządkowali trzem rzutom (dysk 0,779; pchnięcie kulą 0,719; oszczep 0,659), w drugim znaczenie miały konkurencje biegów sprinterskich: na 110 m ppł. (0,814) oraz 400 m (0,627), a także skoku o tyczce (0,748), a w strukturze trzeciego czynnika istotne okazały się ładunki dla konkurencji 1500 m (0,845), 100 m (0,732), a także 400 m (0,506).

Analizując strukturę otrzymanych składowych głównych we wcześniejszych okresach rozwoju lekkiej atletyki (1968–1984 oraz 1960–1967), stwierdzono, że w strukturze pierwszej składowej, opisującej w każdym przypadku znaczną większość wariancji danych poddanych analizie, zawsze dominują konkurencje szybkościowe i siłowe, których wielkości udziałów definiują charakter składowej. W grupie 25 najlepszych zawodników świata z lat 1968–1984 pierwszą składową, określoną na podstawie udziału jako siłowo-szybkościową, charakteryzowały w pierwszej kolejności zmienne, w których ważna jest siła (PK – 17,35%), a następnie zmienne zależne od siły poszczególnych kończyn i ich szybkości (ST, SD), a także samej szybkości (B110 i B400). Drugą składową, określaną jako szybkościowa opisywały, wyłącznie konkurencje, w których to właśnie szybkość determinuje wysokie rezultaty. W tej grupie trudna do zidentyfikowania okazała się trzecia składowa, opisująca

zaledwie 11% całościowej zmienności, którą tworzyło cztery różne pod względem fizjologicznym, biomechanicznym oraz technicznym konkurencje. Podobny problem pojawił się w polskiej oraz drugiej grupie zawodników świata startujących w latach 1985–2015, gdzie trudny do zdefiniowania był także charakter trzeciej składowej (wariancja na poziomie ok. 11%). Podobne czynniki w strukturze ówczesnego dziesięcioboju (lata 70-te) wyodrębnili Haleczko i Socha (1976), którzy określili je jako zdolności szybkościowo-siłowe (biegi na 400 i 100 m oraz skok w dal), siłę absolutną związaną z masą ciała (pchnięcie kulą i rzut dyskiem) oraz siłę względną (zrywową), zawierającą ładunki dotyczące wszystkich konkurencji skoków. W kolejnej pracy Sochy (1977), określono czynniki szybkości biegowej, gdzie najistotniejsze okazały się ładunki biegów na dystansach 400 m (0,78) i 100 m (0,66), siły absolutnej opartej na konkurencjach rzutu dyskiem (0,86) i pchnięcia kulą (0,65), wytrzymałości specjalnej, w której skład wchodziły bieg na 1500 m (0,87) i bieg na 400 m (0,43) oraz siły względnej (skok w dal – 0,80).

Tabela 38. Porównanie wyników analizy PCA w polskiej grupie dziesięcioboju

Okres	Grupa	Liczba skl.	Nr skl.	Poziom wariacji	Struktura		NAZWA
					Zmienna	Udział	
1985-2015	1-25	3	1	45,27%	B100	13,85%	Składowa szybkościowo-siłowa
					SD	13,32%	
			PK	12,62%			
RO	11,12%						
B110	10,91%						
B400	10,64%						
ST	10,43%						
1985-2015	1-25	3	2	14,49%	B1500	43,81%	Składowa wytrzymałościowa
					B400	26,45%	
			RD	14,89%			
1985-2015	1-25	3	3	10,01%	SW	39,95%	Składowa bliżej nieokreślona
					RD	21,74%	
					B1500	10,87%	
1968-1984	1-25	2	1	43,30%	ST	14,05%	Składowa siłowa
					SD	13,42%	
1968-1984	1-25	2	1	43,30%	PK	13,15%	
					B400	12,17%	
RD	11,79%						
1968-1984	1-25	2	2	15,12%	B1500	35,94%	Składowa wytrzymałościowa
					B400	17,89%	
RO	14,69%						
RD	10,23%						

Porównując zdefiniowaną za pomocą analizy PCA wewnętrzną strukturę polskiego dziesięcioboju, w dwóch przyjętych okresach stwierdzono, że udział zmiennych reprezentujących dane dotyczące wyników osiąganych w konkurencjach cząstkowych przez grupę startującą współcześnie, pozwolił na zdefiniowanie pierwszej składowej jako szybkościowo-siłową, co odpowiada strukturze składowych wyznaczonych dla grupy świat.

Natomiast w okresie wcześniejszym składową, opisującą największą część zmienności danych, określono jako typowo siłową, w której dominowały różne elementy sprawności siłowej. Ponadto, na podstawie znaczących udziałów zmiennych odpowiadających biegom na 1500 i 400 m, w obu badanych okresach, drugą składową główną zdefiniowano jako wytrzymałościowa.

4.5 Modele teoretyczne przebiegu kariery dziesięciobojowej

Efektywność i prosta implementacja sztucznych sieci neuronowych (SSN) sprawia, że wykorzystywane są one w różnych dziedzinach nauki (Heazlewood i in., 2015). O szerokim zastosowaniu różnych modeli sztucznej inteligencji w sporcie pisał m.in. Przednowek (2014), który użył regularyzowanych modeli liniowych oraz sztucznych sieci neuronowych do optymalizacji obciążeń treningowych w sporcie (bieg na 400 m przez płotki). Spośród kilku zastosowanych przez niego modeli, najdokładniejszą metodą realizującą generowanie obciążeń treningowych, okazała się sieć neuronowa typu RBF charakteryzująca się łatwiejszym, nieiteracyjnym procesem uczenia się, umożliwiającym generowanie modeli powtarzalnych oraz weryfikowalnych. W związku z tym w niniejszej pracy do wyznaczenia teoretycznych modeli karier zawodniczych oraz estymacji przyrostów procentowych w poszczególnych konkurencjach składowych wykorzystano sztuczną sieć neuronową o radialnych funkcjach bazowych – RBF. Implementacja sieci mającej na celu oszacowanie sumarycznych wyników przeciętnych, czy przyrostów procentowych dla konkurencji składowych, oprócz przekazania do sieci danych wejściowych, zdefiniowania typu funkcji bazowej i wyjść, wymagała określenia optymalnej liczby neuronów warstwy ukrytej, którą wyznaczono na podstawie wartości błędów $RMSE_{cv}$ generowanych przez sieć.

Teoretyczne szacowanie rozwoju wyników końcowych oraz cząstkowych na podstawie sztucznych sieci neuronowych pozwala na określenie przewidywanego przebiegu kariery zawodniczej, a także przyrostów punktowych w składowych konkurencjach, w odniesieniu do wieku, etapu kariery i aktualnego poziomu sportowego.

Oszacowany przez sieć RBF model teoretyczny przebiegu współczesnej kariery dziesięciobojowej wykazuje analogie w stosunku do analizowanych karier rzeczywistych (ryciny 84–86 oraz ryciny 3–5). Podobieństwa zaobserwowano w obu grupach i dotyczyły one wszystkich trzech protokołów badawczych. W protokole pierwszym okres dochodzenia przez zawodników do rezultatów na najwyższym poziomie charakteryzował się, podobnie jak w okresie 1985–2015, ciągłym postępowaniem zdobywanych wyników i trwał on do 27 roku życia, a w kolejnych latach sieć odwzorowała także okres spadkowy. Średnie wyników końcowych

oszacowane przez sieć kształtowały się na zbliżonym do rzeczywistości poziomie. Analizując kolejne lata startów (protokół 2), zarówno w polskiej, jak i światowej grupie długości trwania przeciętnych karier zawodniczych, wynosiła odpowiednio 10 i 15 lat, a okres poprzedzający wyniki na poziomie rekordu życiowego (protokół 3) dla wspomnianych grup trwał od 9 (świat) do 6 lat (Polska), zaś w następnym okresie zawodnicy startowali od 3 (Polacy) do 5 lat (świat).

Wartości procentowe przyrostów punktowych, oszacowane przez sieć RBF dla zawodników klasy światowej, wskazują na dynamiczny i szczególnie widoczny na początkowym etapie, rozwój takich konkurencji, jak skok o tyczce, skok w dal, bieg na 110 m przez płotki oraz rzut dyskiem, następnie ich wyraźny i równomierny rozwój w 7-mym roku kariery sportowej, a w końcowym etapie mistrzostwa sportowego regres (oprócz rzutów).

5. WNIOSKI

Zebrany materiał badawczy i przeprowadzone w pracy analizy pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Wykorzystując trzy protokoły badawcze, określono typowy przebieg kariery sportowej dziesięcioboistów. Czas trwania kariery sportowej zawodników startujących współcześnie (okres 1985–2015) wydłuża się i w indywidualnych przypadkach może on wynosić: w grupie światowej – ok. 20 lat, a w Polsce w przybliżeniu 5 lat krócej. Optymalny wiek dziesięcioboistów, w którym osiągają oni rekordowe wyniki (zarówno w grupie najlepszych wieloboistów świata oraz Polaków), wynosi 27 lat (protokół 1). Czołowi zawodnicy startujący współcześnie potrzebują ok. 10 lat na uzyskanie najlepszych wyników, tj. o 3 lata więcej niż we wcześniejszych rozpatrywanych okresach, a po uzyskaniu rekordowego wyniku najlepsi zawodnicy kontynuują karierę sportową od 5–6 do nawet 12 lat.
2. Stosując model regresji segmentowej dla średnich poziomów wyników końcowych, w protokołach badawczych zobrazowano ciągły i dynamiczny postęp uzyskiwanych wyników w początkowych oraz późniejszych latach kariery, który trwa aż do osiągnięcia przez zawodników wyników na najwyższym poziomie. Po tym okresie następuje ciągły spadek poziomu przeciętnych rezultatów końcowych.
3. W grupie najlepszych zawodników świata wyniki uzyskiwane w konkurencjach cząstkowych istotnie różnicują kolejne etapy rozwoju sportowego. Uwzględniając poszczególne konkurencje, etap II charakteryzuje się najlepszymi wynikami w biegu na 1500 m, etap III to dominacja większości konkurencji szybkościowych i siłowo-szybkościowych, a etap IV to najlepsze wyniki w pchnięciu kulą (zdolności siłowe) oraz w skoku o tyczce (umiejętności techniczne).
4. Zależności między poszczególnymi konkurencjami mają podstawę motoryczną. Związki konkurencji szybkościowych (100 m – skok w dal – 400 m – 110 m przez płotki) są istotne, a ich siła wzrasta w kolejnych okresach badań (od 1968 do 2015 r.). Najmniejsze zależności z pozostałymi konkurencjami zaobserwowano w trudnych konkurencjach technicznych (skok wzwyż i skok o tyczce) oraz w biegu na 1500 m.
5. Wpływ konkurencji składowych na końcowy wynik dziesięcioboju zmienia się w całym okresie „ontogenezy sportowej” (=przebieg czasowy mistrzostwa sportowego). Największe znaczenie w latach 1985–2015 mają wyniki w konkurencjach szybkościowych (100 m, skok w dal, 400 m, 110 m przez płotki), a także w pchnięciu

kulą i w skoku o tyczce. Powyższe zależności dotyczą obydwu grup („świat” i „Polska”). Sposób interpretacji danych (wyniki rzeczywiste i przeliczone na punkty) nie zmieniają wyników analizy korelacji. Śledząc zmiany wpływu poszczególnych konkurencji na końcowy wynik, w czterech etapach kariery sportowej zaobserwowano istotny spadek znaczenia rzutów (z akcentem na pchnięcie kulą) oraz skoku wzwyż.

6. Analiza PCA (składowych głównych) pozwoliła na wykorzystanie struktur wielowymiarowych w grupowaniu konkurencji o podobnym znaczeniu w kontekście wyniku końcowego. Dane wskazują na dominację czynników łączących szybkość i siłę (w okresie po 1985 r.) oraz siłę i szybkość (okres do 1984 r.). W pakiecie konkurencji, w których dominują obydwie zdolności kondycyjne, są przede wszystkim biegi krótkie (100 m, 400 m, 110 m ppł.), skok w dal, a także rzuty (głównie pchnięcie kulą i rzut dyskiem). W wielu przypadkach dwie konkurencje składowe (rzut oszczepem i bieg na 1500 m) stanowią specyficzne składowe, trudne do jednoznacznego zdefiniowania.
7. Teoretyczne szacowanie rozwoju wyników cząstkowych, na podstawie sztucznych sieci neuronowych pozwala, na określenie przyrostów punktowych w składowych konkurencjach w odniesieniu do wieku, etapu kariery i aktualnego poziomu sportowego. Sieć RBF wskazuje na dynamiczny rozwój takich konkurencji, jak skok o tyczce, skok w dal, bieg na 110 m przez płotki oraz rzut dyskiem (pierwszy etap rozwoju), wyraźny, równomierny rozwój w 7-mym roku kariery sportowej i regres (poza rzutami) w końcowym etapie mistrzostwa sportowego.
8. Analiza przebiegu mistrzostwa sportowego rozłożonego na cztery etapy szkolenia pozwala ocenić prawidłowość rozwoju wyników i predykcje wyniku w odniesieniu do konkretnych grup wieloboistów. Zależności korelacyjne, a także wyniki analiz wielowymiarowych pozwalają, na organizację treningów łączących jednostki treningowe i poszczególne cykle szkoleniowe.

LITERATURA

1. Baumler, G., Rieder, H. (1972). Analyse der Leistungsstruktur des Leichtathletischen Zehnkampfes. W: G. Bäuml, H. Rieder, W. Seitz (Red.), *Sportpsychologie* (str. 72–105). Schorndorf: Hofmann.
2. Bezdicek, V. (1981). Rocny cyklus pripravy mladych desetibojarov [The yearly preparation cycle of young decathlete]. *Trener*, 25(5), 216–218.
3. Biecek, P. (2011). *Przewodnik po pakiecie R*. Wrocław: Oficyna Wydawnicza GiS.
4. Bilić, M. (2015). Determination of taxonomic type structures of top decathlon athletes. *Acta Kinesiologica*, 9(1), 20–23.
5. Bishop, C. M. (2006). *Pattern Recognition and Machine Learning*. NY: Springer Science+Business Media, LLC.
6. Bridgett, L. A., Linthorne, N. P. (2006). Changes in long jump take-off technique with increasing run-up speed. *Journal of Sports Sciences*, 24(8), 889–897.
7. Butler, M. (2015). *World Championships. Statistics Book*. Monaco: IAAF.
8. Chen, C., Zhang, B. (2016). Development trend of world men decathlon scores BP neural network analysis. W: Z. Henan, J. Y. Beijing (Red.), *2016 National Convention on Sports Science of China, Zhengzhou China*, France: EDP Sciences.
9. Coh, M., Iskra, J. (2012). Biomechanical studies of 110 m hurdle clearance technique. *Sport Science*, 5(1), 10–14.
10. Daszykowski, M., Walczak, B. (2008). Analiza czynników głównych i inne metody eksploracji danych. W: D. Zuba, A. Parczewski (Red.), *Chemometria w analityce*, Kraków: Instytut Ekspertyz Sądowych w Krakowie.
11. DECA – The decathlon Association. (2018). *The Decathlon in Olympic History*. Źródło: <https://decathlonusa.typepad.com/deca/history.html>.
12. Dziadek, B., Iskra, J., Przednowek, K. (2016). Running preparation and the final decathlon score in terms of sports career development. *Physical Activity Review*, 4, 115–123.
13. Edouard, P., Mori J. B., Samozino, P. (2013b). Injuries in Combined Events: Epidemiological Data from National-Level Championships. *New Studies in Athletics*, 28(3/4), 39–45.
14. Edouard, P., Mori, J. B., Samozino, P. (2013a). Maximal Lower Extremity Power Output Changes During a Decathlon. *New Studies in Athletics*, 28(3/4), 19–37.
15. Eller, A. (1974). Energozatraty diesiatiborcew. *Legkaja Atletika*, 8, 14–15.

16. Ertel, S. (2011). Exploratory factor analysis revealing complex structure. *Elsevier*, 50(2), 196–200.
17. Freeman, W. H. (1986). Factors of decathlon performances success, *Track and Field Quarterly Review*, 86(2), 4–11.
18. Fritzs, W. (1986). Zur sporttechnischen Ausbildung junge Zehnkämpfer [About the technical training of young decathletes]. *Wissenschaftliche Zeitschrift der DHFK*, 27(2), 68–77.
19. Furdal, S. (1986). *Analizy modelowe wyników w dziesięcioboju*. Warszawa: Raport Instytutu Sportu.
20. Furdal, S. (1989). The structure analysis of the results in decathlon. *Biology of Sport*, 6(3).
21. Gąszczak, H. (01.2011). *Statystyka P. H. Gąszczaka*. Pobrane z: <http://www.pzla.pl/>
22. Gudelj, I., Zagorac, N., Babic, V. (2013). Influence of Kinematic Parameters on Pole Vault Results in Top Juniors. *Collegium antropologicum*, 37(2), 25–30.
23. Haleczko, A., Socha, S. (1975). Zastosowanie analizy wielocechowej do określenia czynników warunkujących wysokie osiągnięcia w dziesięcioboju. *Sport Wyczynowy*, 7, 8–18.
24. Haleczko, A., Socha, S. (1976). Teoretyczne podstawy optymalnego modelu dziesięcioboju. W: *Dziesięciobój lekkoatletyczny. Materiały Konferencji Naukowo-Methodycznej* (str. 9–21). Katowice: WSWF Katowice.
25. Han, J., Kamber, M. (2006). *Data Mining Concepts and Techniques*. Oxford: Elsevier Inc.
26. Hardle, W., Simar, L. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. L.A.: Springer Science & Business Media.
27. Heazlewood, I., Gahreman, D., Lee, J. (2014). The factor structure of the decathlon and heptathlon: implications for training strength, power, speed and endurance. *Journal of Australian Strength and Conditioning*, 22(5), 161–166.
28. Heazlewood, I., Walsh, J., Climstein, M., Kettunen, J., Adams, K., DeBeliso, M. (2015). A Comparison of Classification Accuracy for Gender Using Neural Networks Multilayer Perceptron (MLP), Radial Basis Function (RBF) Procedures Compared to Discriminant Function Analysis and Logistic Regression Based on Nine Sports Psychological Constructs to Measure Motivations to Participate in Masters Sports Competing at the 2009 World Masters Games. W: P. Chung, A. Soltoggio, C. W. Dawson, Q. Meng, M. Pain, (Red.), *Proceedings of the 10th International Symposium on Computer Science in Sports (ISCSS)*.
29. Higgins, A. (1989). Beyond Speed in the Decathlon. *New Studies in Athletics*, 2, 39–44.

30. Hyjek, J. (2013). Czynniki determinujące rytm w biegu przez płotki u osób o różnym poziomie zaawansowania sportowego. Praca doktorska. Katowice: AWF Katowice;
31. Hymans, R. (2010). *Progression of word best performances and IAAF approved Word records*. Monaco: IAAF;
32. Hymans, R., Matrahazi, I. (2015). *Progression of IAAF word records*. Monaco: IAAF
33. IAAF – International Association of Athletics Federations. (2001). *IAAF Scoring Tables for Combined Events*. Pobrane z: <http://www.iaaf.org/>
34. IAAF (01.2016) *Records and lists, 2016*. Pobrane z: <http://www.iaaf.org/home>
35. IAAF (2018). *Records and lists, 2018*. Pobrane z: <http://www.iaaf.org/home>
36. Iskra, J. (1988). Nowe tabele – nowy typ dziesięcioboisty. *Lekkoatletyka*, 5, 15–17
37. Iskra, J. (1990). *Struktura czynnikowa dziesięcioboju* (Praca doktorska). AWF Wrocław: Wrocław.
38. Iskra, J. (2006). *Lekkoatletyka – Podręcznik dla studentów*. Katowice: AWF Katowice.
39. Iskra, J. (2012). *Lekkoatletyczne tabele olimpijskie*. Opole: Politechnika Opolska.
40. Jaitner, T., Mendoza, L., Schöllhorn, W. I. (2001). Analysis of the long jump technique in the transition from approach to takeoff based on time-continuous kinematic data. *European Journal of Sport Science*, 1(5), 1–12.
41. James, G., Witten, D., Hastie, T., Tibshirani, R. (2013). *An Introduction to Statistical Learning: with Applications in R*. L.A.: Springer Science & Business Media.
42. Kabitsis, C., Harahousou, Y., Kioumourtzoglou, E. (1992). A study on the best junior decathletes performances. *Physical Education Review*, 15 (2), 157–162.
43. Kadijski, I. (1991a). Faktorna struktura na desetboja za junosi [Factor structure of youth decathlon]. *Vaprosi na fiziceskata kultura*, 36(1), 23–26.
44. Kadijski, I. (1991b). Faktorna struktura na desetboja za maze [Factor structure of the decathlon]. *Vaprosi na fiziceskata kultura*, 36(4), 8–12.
45. Kadijski, I. (1991c). Optimalna vazrast i neobchodim sporten staz za postigane na maksimalni rezultati v desetiboja i sastavnite mu discipline [Optimal age and training age required for the achievement of maximal performances in the decathlon and its partial disciplines] *Vaprosi na fiziceskata kultura*, 36(6), 7–10.
46. Karvonen, M., Niemi, M. (1953). Factor analysis of performance in track and field events. *Arbeitspsychologie*, 2, 127–133.
47. Kassambara, A. (2017a). *Practical Guide to Principal Component Methods in R*. STHDA.
48. Kassambara, A. (2017b). *PCA – Principal Component Analysis Essentials*. Pobrane z: <http://www.sthda.com/>

49. Klimczyk, M., Dakiniewicz, R. (2012). Technika i ćwiczenia specjalne skoczków o tyczce. W: R. Muszkieta, M. Klimczyk, W. Zukow (Red.), *Wybrane zagadnienia dydaktyki wychowania fizycznego, sportu i turystyki*. Poznań: Wydawnictwo Edukacyjne Ośrodek Rekreacji, Sportu i Edukacji, 57–76.
50. Kostial, J. (1993). Struktura sportovéh vykonu v desatboji [Performance structure in decathlon], *Telesna vychova a sport*, 3(4). Str. 19–22.
51. Koukal, J. (1986). Treninkove prostredky na roznoj pohybovych schopnosti desatibojaru [The training of the movement abilities of decathletes]. *Trener*, 30(8), 355–359.
52. Krzesinski, A. (1984). The specific features of the decathlon. *Track Technique*, 89, 2828–2830.
53. Krzesinski, A. (1985). Specific features of the decathlon – part II, *Track Technique*, 93, 2957–2959.
54. Krzesinski, A. (1986). The decathlete's first step. *Track and Field Quarterly Review*, 2, 11.
55. Kunz, H. (1984). Leistungsbestimmende Faktoren und Bewegungsverwandtschaften im Zehnkampf [Performance-determining factors and movement affinities in the decathlon]. *Leistungssport*, 14(5), 19–25.
56. Kunz, H., Kaufmann, D. A. (1981). Biomechanical analysis of sprinting: decathletes versus champions. *British Journal of Sports Medicine*, (15)3, 177–181.
57. Kunz, H., Kaufmann, D. A. (1983). Cinematographical analysis of javelin throwing techniques of decathletes. *British Journal of Sports Medicine*, (17)3, 200–204.
58. Kuptshinov, R. (1991). A 9000-point decathlon model, *Modern Athlete and Coach*, 29(4), 9–13.
59. Liu, J., Wu, S., Zidek, J. V. (1997). On segmented multivariate regression. *Statistica Sinica*, (7)2, 497–525.
60. Magnusen, R. (1986). International views on decathlon training methods. *Track and Field Quarterly Review*, 86(2), 25–26.
61. Maksimenko, G., Martinenko, V. (1992). Sastezatelnata podgotovka na desetobojcites visoka kvalifikacija pred osnovnoto sastezanie za sezona [Competition preparation of elite decathletes for the peak event of the season]. *Vaprosi na fiziceskata kultura*, 37(7), 2–4.
62. Marra, H., Freeman, B. (1989). The decathlon. W: V. Gambetta, (Red.), *The Athletics Congress's track and field coaching manual, 2nd ed.* (str. 203-207), Champaign: Leisure Press.

63. Maszczyk, A. (2013). *Analiza i predykcja dynamiki zmienności światowych wyników konkurencji lekkoatletycznych w latach 1946 – 2011*. Katowice: AWF Katowice.
64. Matthews, P. (2013). *Athletics 2013. The International Track and Field Annual*. Cheltenham: Sports Book Ltd.
65. Miguel, P. J. P., Reis, V. M. (2004). Speed strength endurance and 400m performance. *New Studies in Athletics*, 19(4), 39–45.
66. Muggeo, V. M. R. (2008). Segmented: An R Package to Fit Regression Models with Broken-Line Relationships. *R News*, 8(1), 20–25.
67. Narimanov, A. (1987). Prognozowanie i otbor mozno li prognozirovat rezultaty desjatiborcev? [Performance prognosis and selection of talented young decathletes]. *Legkaja atletika*, 5, 16.
68. Neto, J. (11.2013). *Radial Basis Functions*. Pobrane z: <http://www.di.fc.ul.pt/>
69. Nowak, L. (1989). *Optymalizacja osiągnięć w dziesięcioboju w kolejnych latach rozwoju zawodniczego* (Praca doktorska). AWF Kraków: Kraków.
70. Osowski, S. (1996). *Sieci neuronowe w ujęciu algorytmicznym*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne.
71. Park, J., Zatsiorsky, V. M. (2011). Multivariate Statistical Analysis of Decathlon Performance Results in Olympic Athletes (1988–2008). *International Journal of Sport and Health Sciences*, 5 (5), 779–782.
72. Pavlović, R., Idrizović, K. (2017). Factor analysis of world record holders in athletic decathlon. *Sport Science*, 10(1), 109–116.
73. Poliszczuk, W. D. (2001). *Lekkoatletyczskoje diesatiborie*. Kijew: Naukowyj swit.
74. Primakov, J. N., Popov, G. G. (1981). Posledovatel'nost' obucenija vidam legkoatleticeskogo desiatibor'ja v period nacal'noj specializacii [The order of learning the techniques of the decathlon events during the period of specialization]. *Teorija i praktika fiziceskoj kul'tury*, 44(7), 30–32.
75. Primakov, J. U., Popov, G. G. (1983). Dinamika vzaimosvjazi techniceskogo 74 masterstva s urovnem razvitija fiziceskich kacestv u junych desjatiborcev [The connections between the technical performance ability and the development of the physical capacities of young decathletes]. *Teorija i praktika fiziceskoj kul'tury*, 46(8), 21–23.
76. Przednowek, K. (2014). *Metody sztucznej inteligencji oraz regularyzowane modele liniowe w optymalizacji obciążeń treningowych w biegu na 400 m przez płotki* (Praca doktorska). AWF Katowice: Katowice.

77. PZLA – Polski Związek Lekkiej Atletyki. (1968-2006). *Zestawienie tabel*. Warszawa: Dział Sportowo-Techniczny.
78. PZLA (01.2016). *Statystyka (2003-2015)*. Pobrane z: <https://statystyka.pzla.pl/>
79. Quercetani, R. L. (2000). *Athletics. A history of modern track and field athletics – Men and Woman (1860-2000)*. Mediolan: SEP Editrice.
80. R Core Team R (2018). A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. Pobrane z: <https://www.R-project.org/>
81. Rozum, J., Grinberg, D., Jonik, Z., Kurzyński, H., Luftman, L., Pietkiewicz, S., Wołejko, T. (2009). *90 lat polskiej lekkoatletyki 1919-2009*. Warszawa: PZLA.
82. Rudski, A., Aptekman, B. (1986). Stages in the training of decathloners, *Track and Field Quarterly Review*, 86(2), 16–17.
83. Ryan, S. E., Porth, L. S. (05.2007). *A Tutorial on the Piecewise Regression Approach Applied to Bedload Transport Data*. Pobrane z: <https://www.fs.fed.us/>;
84. Ryba, J., Mierzejewski, Z. (2007). Zawody i trening w dziesięcioboju lekkoatletycznym. W: Z. Borek, T. Gabryś (Red.), *Lekkoatletyka. Podręcznik dla studentów, nauczycieli i trenerów. Cz. 2 Skoki, rzuty i wieloboje*. Katowice: AWF Katowice, 279–301.
85. Sadurski, K., Opaszowski, B. (1977). Ocena wytrzymałości dziesięcioboistów w świetle badań fizjologicznych. *Sport Wyczynowy*, 7, 23–30.
86. Salmistu, J. (2016). *World decathlon rankings 1965-2016*. Pobrane z: <http://www.decathlon2000.com/>;
87. Schneider, K. (1986). Biomechanische Körperbaumerkmale und sportliche Leistung im Zehnkampf [Biomechanical body parameters and decathlon performance]. *Sportwissenschaft*, 16, 2, 181–189.
88. Schrader, A. (2011). Eine Disziplin nach der anderen [Jedna dyscyplina po drugiej]. *Leichtathletiktraining*, 2(3), 46–53.
89. Shuravetzky, E. (1995). An outline of the Australian Decathlon Coaching Programme. *New Studies in Athletics*, 10(2), 43–47.
90. Shuravetzky, E. (2008). Decathlon: An outline of the Australian coaching program. *Modern athlete and coach*, 46, 25–28.
91. Simons, J. (1968). Factor analyse van de olympische tienkamp. *Hermes*, 2, 159–170.
92. Siskov, B. (1993). Dalzinata na krackata i realizacijata na barzinata pri desetobojcitate [Stride length and realization of speed in decathletes]. *Sport i Nauka*, 8, 10, 6–7.

93. Socha, S. (1975). Problemy prognozowania i sterowania treningiem 10-boju. *Sport Wyczynowy*, 10, 29–35.
94. Socha, S. (1977). *Sterowanie treningiem i prognozowanie wyników w dziesięcioboju*. Katowice: WSWF Katowice.
95. Stanisz, A. (2006). *Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny. Tom 1. Statystyki podstawowe*. Kraków: StatSoft Polska.
96. StatSoft (2006). *Elektroniczny Podręcznik Statystyki PL*. Pobrane z: <http://www.statsoft.pl/textbook/stathome.html>.
97. StatSoft (2014). *Inc. STATISTICA (oprogramowanie do analizy danych), wersja 12*. Pobrane z: <http://www.statsoft.pl/>
98. Stemmler, M., Bäuml, G. (2005). The Detection of Types among Decathletes using Configural Frequency Analysis (CFA). *Psychology Science*, 47(3/4), 447–466.
99. Tadeusiewicz, R. (1993). *Sieci neuronowe*. Warszawa: Akademicka Oficyna Wydawnicza.
100. Tidow, G. (1989). The 1985 IAAF decathlon scoring tables: an attempt at analysis. *New Studies in Athletics*, 4(2), 45–62.
101. Tidow, G. (2000). Challenge decathlon – barriers on the way to becoming the “King of Athletes”. *New Studies in Athletics*, 15(3/4), 39–44.
102. Trkal, V. (2003). The development of combined events scoring tables and implications for the training of decathletes. *New Studies in Athletics*, 18(4), 7–12.
103. Van Kuijen, H. (1998). *1997 Annual Combined Events*. Helmond.
104. Van Kuijen, H. (2012). *100 years of the Decathlon – IAAF Centenary*. Pobrane z: <https://www.iaaf.org/>
105. Vana, Z. (2003). The training of the best decathletes. *New Studies in Athletics*, 18(4), 15–30.
106. Vinduskova, J. (2001). Junior performances of the best decathletes. W: Z. Mroczyński, K. Prusiak, W. Ratkowski (Red.), *Lekkoatletyka w teorii i praktyce* (str. 229-233), Gdańsk: AWFIS Gdańsk.
107. Walaszczyk, A. (1997). Prognozowanie rezultatów w 10-boju na podstawie wyników w składowych konkurencjach na różnych etapach kariery sportowej. *Trening*, 3, 215–222.
108. Walaszczyk, A. (1998). *Wybrane uwarunkowania osobnicze osiągnięć sportowych kobiet i mężczyzn w wielobojach lekkoatletycznych* (Praca doktorska). Katowice: AWF Katowice.

109. Walaszczyk, A., Iskra, J. (2002). Model lekkoatletycznego dziesięcioboju a indywidualne osiągnięcia najlepszych wieloboistów z lat 1970-2001. W: (red. H. Sozański i wsp.) *Trening sportowy na przełomie wieków* (str. 205-208), Warszawa: AWF Warszawa.
110. Wallechinsky, D., Loucky, J. (2012). *The complete book of the Olympics. 2012 Edition*. London: Aurum Press.
111. Wimmer, V., Fenske, N., Pyrka, P., Fahrmeir, L. (2011). Exploring Competition Performance in Decathlon Using Semi-Parametric Latent Variable Models. *Journal of Quantitative Analysis in Sports*, 7(4), artykuł 6.
112. Woolf, A., Ansley, L., Bidgood, P. (2007). Grouping of Decathlon Disciplines. *Journal of Quantitative Analysis in Sports*, 3(4), artykuł 5.
113. Zaciorski, W. M., Godik, M. (1963). Osnovnye faktory trenirovannosti v legkoatleticeskom desjatiborie (opyt faktornogo analiza). *Teorija i praktika fiziceskoj kul'tury*, 8, 27–30.
114. Zarnowski, F. (1991). *The Decathlon: A Colorful History of Track and Field's Most Challenging Event*. Champaign: Leisure Press.
115. Zarnowski, F. (2005). *All-around men. Heroes of a forgotten sport*. Lanham: The Scarecrow Press.

ANEKS

Tabela 39. Analiza wpływu poszczególnych konkurencji składowych na wynik końcowy dziesięcioboju z uwzględnieniem wartości metrycznych w grupie zawodników świata (1–25) startującej w okresie 1968–1984

ETAP		100 m	w dal	kula	wzwyż	400 m	110 m	dysk	tyczka	oszczep	1500 m	
1-25	I	r_{xy}	-0,37*	0,73*	0,73*	0,35*	-0,55*	-0,56*	0,51*	0,46*	0,62*	-0,56*
	II	r_{xy}	-0,25*	0,66*	0,80*	0,49*	-0,62*	-0,55*	0,57*	0,62*	0,78*	-0,62*
	III	r_{xy}	-0,46*	0,59*	0,64*	0,13	-0,62*	-0,59*	0,42*	0,39*	0,48*	-0,38*
	IV	r_{xy}	0,20	0,23	0,88*	0,76*	-0,28	-0,78*	0,92*	0,34	0,89*	-0,83*
26-50	I	r_{xy}	-0,31	0,24	0,63*	0,10*	-0,68	-0,22*	0,41*	0,20	0,54*	-0,66*
	II	r_{xy}	-0,47	0,57	0,49*	0,54*	-0,64	-0,60*	0,49*	0,20	0,74*	-0,29*
	III	r_{xy}	-0,23	0,55	0,16*	0,38*	-0,58	-0,23*	0,27*	0,22	0,48*	-0,46*
	IV	r_{xy}	-0,86	0,89	0,90*	0,54*	-0,93	-0,37*	0,77*	-0,27	0,71*	-0,73*

istotność statystyczna na poziomie: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Tabela 40. Analiza wpływu poszczególnych konkurencji składowych na wynik końcowy dziesięcioboju z uwzględnieniem wartości metrycznych w grupie zawodników świata (1–25) startującej w okresie 1960–1967

ETAP		100 m	w dal	kula	wzwyż	400 m	110 m	dysk	tyczka	oszczep	1500 m
I	r_{xy}	-0,83*	0,90*	-0,59	0,99*	-0,90*	-0,64	-0,06	0,66	0,92*	-0,80
II	r_{xy}	-0,35*	0,62*	0,09	0,50*	-0,69*	-0,54*	0,34*	0,34*	0,68*	-0,40*
III	r_{xy}	-0,36*	0,51*	0,53*	0,40*	-0,32*	-0,50*	0,52*	0,50*	0,37*	-0,18
IV	r_{xy}	-0,23	0,20	0,15	0,74*	-0,47	-0,31	0,45	-0,11	0,36	-0,07

istotność statystyczna na poziomie: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Tabela 41. Wartości własne składowych głównych w grupie zawodników świata (1–25) startującej w okresie 1985–2015

	Wartość własna składowej	Procent wariancji	Skumulowany procent wariancji
Składowa 1	4,15	41,53	41,53
Składowa 2	1,44	14,45	55,98
Składowa 3	1,04	10,43	66,41
Składowa 4	0,83	8,31	74,72
Składowa 5	0,70	6,95	81,67
Składowa 6	0,63	6,34	88,02
Składowa 7	0,38	3,80	91,81
Składowa 8	0,34	3,41	95,22
Składowa 9	0,29	2,88	98,10
Składowa 10	0,19	1,90	100,00

Tabela 42. Udział zmiennych w utworzonych składowych głównych w grupie zawodników świata (1–25) startującej w okresie 1985–2015

ZMIENNA	Składowa 1 [%]	Składowa 2 [%]	Składowa 3 [%]
B100	11,87	1,32	20,28
SD	13,63	5,73	0,01
PK	11,96	18,90	0,64
SW	3,48	0,16	41,43
B400	13,51	9,16	6,73
B110	15,68	0,16	1,59
RD	11,42	20,79	0,11
ST	10,51	0,04	0,00
RO	7,71	0,01	23,67
B1500	0,23	43,72	5,54

Tabela 43. Wartości własne składowych głównych w grupie zawodników świata (26–50) startującej w okresie 1985–2015

	Wartość własna składowej	Procent wariacji	Skumulowany procent wariacji
Składowa 1	3,99	39,95	39,95
Składowa 2	1,46	14,62	54,56
Składowa 3	1,10	11,00	65,56
Składowa 4	0,99	9,94	75,50
Składowa 5	0,73	7,28	82,78
Składowa 6	0,54	5,40	88,18
Składowa 7	0,46	4,56	92,75
Składowa 8	0,32	3,24	95,98
Składowa 9	0,22	2,20	98,19
Składowa 10	0,18	1,81	100,00

Tabela 44. Udział zmiennych w utworzonych składowych głównych w grupie zawodników świata (26–50) startującej w okresie 1985–2015

ZMIENNA	Składowa 1 [%]	Składowa 2 [%]	Składowa 3 [%]
B100	14,29	0,23	10,87
SD	9,58	2,27	23,74
PK	10,93	23,80	1,53
SW	5,20	1,98	4,89
B400	12,71	18,70	0,00
B110	15,71	1,88	0,43
RD	11,58	17,01	2,97
ST	12,37	1,72	3,20
RO	6,22	3,90	25,99
B1500	1,41	28,50	26,38

Tabela 45. Wartości własne składowych głównych w grupie polskich zawodników startujących w okresie 1985–2015

	Wartość własna składowej	Procent wariacji	Skumulowany procent wariacji
Składowa 1	4,53	45,27	45,27
Składowa 2	1,45	14,49	59,76
Składowa 3	1,00	10,01	69,77
Składowa 4	0,83	8,32	78,09
Składowa 5	0,62	6,17	84,27
Składowa 6	0,50	4,97	89,23
Składowa 7	0,34	3,44	92,67
Składowa 8	0,34	3,41	96,09
Składowa 9	0,23	2,33	98,42
Składowa 10	0,16	1,58	100,00

Tabela 46. Udział zmiennych w utworzonych składowych głównych w polskiej grupie startującej w okresie 1985-2015

ZMIENNA	Składowa 1 [%]	Składowa 2 [%]	Składowa 3 [%]
B100	13,85	1,67	0,09
SD	13,32	0,37	9,81
PK	12,62	8,99	8,88
SW	7,21	1,05	39,95
B400	10,64	26,45	0,00
B110	10,91	0,07	3,21
RD	8,96	14,89	21,74
ST	10,43	0,05	5,32
RO	11,12	2,68	0,13
B1500	0,95	43,81	10,87

Tabela 47. Wartości własne składowych głównych w grupie zawodników świata (1–25) startującej w okresie 1968–1984

	Wartość własna składowej	Procent wariacji	Skumulowany procent wariacji
Składowa 1	4,27	42,69	42,69
Składowa 2	1,46	14,65	57,34
Składowa 3	1,10	11,01	68,35
Składowa 4	0,88	8,75	77,10
Składowa 5	0,56	5,59	82,69
Składowa 6	0,50	4,98	87,67
Składowa 7	0,40	4,00	91,67
Składowa 8	0,36	3,63	95,30
Składowa 9	0,27	2,67	97,97
Składowa 10	0,20	2,03	100,00

Tabela 48. Udział zmiennych w utworzonych składowych głównych w grupie zawodników świata (1–25) startującej w okresie 1968–1984

ZMIENNA	Składowa 1 [%]	Składowa 2 [%]	Składowa 3 [%]
B100	3,78	45,14	1,91
SD	12,38	4,82	5,13
PK	17,35	1,23	7,00
SW	5,02	10,98	12,81
B400	10,62	14,95	1,84
B110	12,11	2,74	0,37
RD	12,09	3,47	15,52
ST	13,22	4,97	3,86
RO	7,66	7,58	26,59
B1500	5,78	4,13	24,99

Tabela 49. Wartości własne składowych głównych w grupie zawodników świata (26–50) startującej w okresie 1968–1984

	Wartość własna składowej	Procent wariacji	Skumulowany procent wariacji
Składowa 1	3,14	31,37	31,37
Składowa 2	1,82	18,15	49,53
Składowa 3	1,22	12,20	61,72
Składowa 4	1,02	10,16	71,89
Składowa 5	0,77	7,74	79,62
Składowa 6	0,68	6,80	86,42
Składowa 7	0,51	5,09	91,51
Składowa 8	0,34	3,41	94,92
Składowa 9	0,27	2,74	97,66
Składowa 10	0,23	2,34	100,00

Tabela 50. Udział zmiennych w utworzonych składowych głównych w grupie zawodników świata (26–50) startującej w okresie 1968–1984

ZMIENNA	Składowa 1 [%]	Składowa 2 [%]	Składowa 3 [%]	Składowa 4 [%]
B100	10,29	0,20	37,46	0,06
SD	11,86	0,71	0,06	34,22
PK	11,80	20,29	0,75	0,00
SW	5,36	13,12	3,55	20,41
B400	17,68	6,08	0,71	15,16
B110	13,64	0,29	0,35	5,72
RD	13,03	16,71	0,76	0,65
ST	12,85	0,40	22,80	2,39
RO	0,37	14,80	30,43	1,97
B1500	3,11	27,40	3,11	19,41

Tabela 51. Wartości własne składowych głównych w grupie polskich zawodników startujących w okresie 1968–1984

	Wartość własna składowej	Procent wariacji	Skumulowany procent wariacji
Składowa 1	4,33	43,30	43,30
Składowa 2	1,51	15,12	58,41
Składowa 3	0,97	9,69	68,11
Składowa 4	0,86	8,59	76,70
Składowa 5	0,60	6,02	82,72
Składowa 6	0,50	5,01	87,73
Składowa 7	0,43	4,26	91,99
Składowa 8	0,34	3,44	95,43
Składowa 9	0,24	2,41	97,84
Składowa 10	0,22	2,16	100,00

Tabela 52. Udział zmiennych w utworzonych składowych głównych w polskiej grupie startującej w okresie 1968–1984

ZMIENNA	Składowa 1 [%]	Składowa 2 [%]
B100	8,28	0,14
SD	13,42	0,00
PK	13,15	9,36
SW	5,70	3,52
B400	12,17	17,89
B110	9,87	7,95
RD	11,79	10,23
ST	14,05	0,27
RO	9,49	14,69
B1500	2,08	35,94

Tabela 53. Wartości własne składowych głównych w grupie zawodników świata startującej w okresie 1960–1968

	Wartość własna składowej	Procent wariacji	Skumulowany procent wariacji
Składowa 1	2,53	25,30	25,30
Składowa 2	1,87	18,69	43,99
Składowa 3	1,34	13,40	57,39
Składowa 4	1,08	10,81	68,21
Składowa 5	0,85	8,49	76,69
Składowa 6	0,78	7,81	84,51
Składowa 7	0,61	6,06	90,57
Składowa 8	0,41	4,14	94,71
Składowa 9	0,32	3,19	97,90
Składowa 10	0,21	2,10	100,00

Tabela 54. Udział zmiennych w utworzonych składowych głównych w grupie zawodników świata startującej w okresie 1960–1968

ZMIENNA	Składowa 1 [%]	Składowa 2 [%]	Składowa 3 [%]	Składowa 4 [%]
B100	14,70	0,00	31,07	3,49
SD	15,90	3,21	2,19	1,11
PK	18,74	3,71	0,59	23,60
SW	8,46	5,33	19,64	7,52
B400	0,21	26,81	23,43	0,28
B110	10,35	2,85	0,92	23,99
RD	17,71	2,03	1,64	18,52
ST	7,10	1,41	15,90	0,85
RO	0,57	22,21	4,53	16,78
B1500	6,27	32,43	0,10	3,84

Tabela 55. Porównanie zależności pomiędzy konkurencjami składowymi w grupie najlepszych zawodników świata startujących w latach 1985-2015 oraz 1968-1984 w czterech etapach rozwoju kariery

ŚWIAT 1985-2015

ETAP	ZMIENNA	ŚWIAT 1985-2015									
		100 m	w dal	kula	wzwyż	400 m	110 m	dysk	tyczka	oszczep	1500 m
I	100 m	----	-0,22	-0,28	0,09	0,36*	0,52**	-0,41*	-0,09	-0,04	-0,09
	w dal	-0,48**	----	0,62**	0,40*	-0,57**	-0,65**	0,42*	0,26	0,43*	-0,27
	kula	-0,21	0,51**	----	0,09	-0,56**	-0,71**	0,65**	0,01	0,33	-0,35*
	wzwyż	0,01	0,30	0,17	----	-0,08	-0,25	0,05	0,01	0,49**	-0,22
	400 m	0,57**	-0,67**	-0,24	0,06	----	0,61**	-0,58**	-0,34	-0,27	0,36*
	110 m	0,10	-0,20	-0,42*	-0,03	0,20	----	-0,60**	-0,24	-0,38*	0,11
	dysk	0,11	0,21	0,42*	0,18	0,08	-0,20	----	0,34	0,21	-0,14
	tyczka	-0,03	0,15	0,27	0,27	-0,12	-0,48**	0,45**	----	-0,10	0,03
	oszczep	0,15	0,09	0,44**	0,14	0,09	-0,23	0,36*	0,16	----	-0,59**
	1500 m	0,02	-0,53**	-0,40*	0,19	0,57**	0,27	-0,11	-0,20	-0,20*	----
II	100 m	----	-0,52**	-0,16	0,01	0,44**	0,43**	-0,27*	-0,16	0,00	-0,09
	w dal	-0,32**	----	0,27*	0,18	-0,45**	-0,46**	0,15	0,53**	0,20	-0,26*
	kula	-0,04	0,48**	----	0,33**	-0,26*	-0,26*	0,63**	0,15	0,26*	0,02
	wzwyż	0,07	0,48**	0,26*	----	-0,17	-0,23*	0,25*	0,23*	0,31**	-0,22
	400 m	0,46**	-0,38**	-0,42**	-0,07	----	0,64**	-0,28*	-0,22*	-0,14	0,46**
	110 m	0,36**	-0,41**	-0,36**	-0,28*	0,37**	----	-0,32**	-0,22	-0,17	0,33**
	dysk	0,01	0,22*	0,67**	0,02	-0,22*	-0,16	----	0,10	0,19	0,09
	tyczka	0,00	0,42**	0,55**	0,33**	-0,35**	-0,35**	0,39**	----	0,19	-0,24*
	oszczep	0,08	0,14	0,68**	0,11	-0,24*	-0,17	0,57**	0,42**	----	-0,21
	1500 m	-0,12	-0,26*	-0,33**	-0,29**	0,40**	0,15	-0,20	-0,60**	-0,30**	----
III	100 m	----	-0,51**	-0,08	-0,01	0,54**	0,53**	0,03	-0,04	-0,07	-0,23**
	w dal	-0,39**	----	-0,06	0,17	-0,40**	-0,19*	-0,25**	0,24**	0,21*	-0,05
	kula	-0,24*	0,29**	----	-0,03	-0,07	-0,09	0,60**	-0,18*	-0,02	0,34**
	wzwyż	0,29**	-0,06	-0,07	----	0,08	-0,09	0,03	-0,08	0,09	0,02
	400 m	0,55**	-0,43**	-0,20	0,18	----	0,36**	0,12	-0,20	-0,09	0,19*
	110 m	0,39**	-0,44**	-0,29**	0,03	0,34**	----	-0,10	0,02	-0,01	-0,02
	dysk	-0,10	0,01	0,53**	-0,08	0,01	-0,10	----	-0,24**	-0,06	0,36**
	tyczka	0,17	0,33**	0,21	0,15	-0,18	-0,20	-0,02	----	0,04	-0,03
	oszczep	-0,09	-0,10	0,42**	0,04	-0,16	-0,01	0,32**	0,00	----	0,02
	1500 m	-0,15	-0,08	-0,03	-0,11	0,21*	0,15	-0,07	-0,25*	0,11	----
IV	100 m	----	-0,43**	0,07	-0,09	0,71**	0,46**	-0,12	-0,68**	0,08	0,11
	w dal	0,57	----	0,01	0,39*	-0,28	-0,23	-0,13	0,24	0,31	-0,08
	kula	0,10	0,20	----	0,06	0,33*	-0,10	0,28	-0,41*	0,01	0,46**
	wzwyż	0,62*	0,62*	0,58	----	-0,16	-0,25	0,24	0,05	-0,14	0,33*
	400 m	0,32	0,44	-0,28	0,29	----	0,34*	0,10	-0,61**	0,20	0,25
	110 m	0,12	0,21	-0,78**	-0,45	0,23	----	-0,46**	-0,29	0,12	0,02
	dysk	0,35	0,26	0,69*	0,76**	-0,25	-0,57	----	0,05	-0,14	0,36*
	tyczka	0,25	0,22	0,86**	0,72*	-0,10	-0,74**	0,76**	----	-0,08	-0,21
	oszczep	0,02	-0,10	0,28	0,37	0,27	-0,51	0,35	0,21	----	-0,29
	1500 m	-0,34	-0,25	-0,60	-0,63*	0,45	0,46	-0,89**	-0,67*	0,05	----

istotność statystyczna na poziomie: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Tabela 56. Porównanie zależności pomiędzy konkurencjami składowymi w grupie najlepszych zawodników świata startujących w latach 1985-2015 oraz 1960-1967 w czterech etapach rozwoju kariery

ŚWIAT 1985-2015

ETAP	ZMIENNA	ŚWIAT 1985-2015									
		100m	w dal	kula	wzwyż	400m	110m	dysk	tyczka	oszczep	1500m
I	100m	----	-0,22	-0,28	0,09	0,36*	0,52**	-0,41*	-0,09	-0,04	-0,09
	w dal	-0,65	----	0,62**	0,40*	-0,57**	-0,65**	0,42*	0,26	0,43*	-0,27
	kula	0,63	-0,64	----	0,09	-0,56**	-0,71**	0,65**	0,01	0,33	-0,35*
	wzwyż	-0,84*	0,91*	-0,55	----	-0,08	-0,25	0,05	0,01	0,49**	-0,22
	400m	0,77	-0,75	0,76	-0,84*	----	0,61**	-0,58**	-0,34	-0,27	0,36*
	110m	0,95**	-0,52	0,68	-0,67	0,63	----	-0,60**	-0,24	-0,38*	0,11
	dysk	0,06	-0,21	0,78	0,02	0,31	0,19	----	0,34	0,21	-0,14
	tyczka	-0,91*	0,78	-0,77	0,89*	-0,92**	-0,81	-0,31	----	-0,10	0,03
	oszczep	-0,21	0,69	-0,45	0,58	-0,65	0,00	-0,39	0,57	----	-0,59**
	1500m	0,37	-0,76	0,44	-0,74	0,81	0,12	0,16	-0,65	-0,91*	----
II	100m	----	-0,52**	-0,16	0,01	0,44**	0,43**	-0,27*	-0,16	0,00	-0,09
	w dal	-0,15	----	0,27*	0,18	-0,45**	-0,46**	0,15	0,53**	0,20	-0,26*
	kula	-0,25	-0,02	----	0,33**	-0,26*	-0,26*	0,63**	0,15	0,26*	0,02
	wzwyż	0,11	0,13	0,12	----	-0,17	-0,23*	0,25*	0,23*	0,31**	-0,22*
	400m	0,50**	-0,42*	0,09	0,06	----	0,64**	-0,28*	-0,22*	-0,14	0,46**
	110m	0,56**	-0,17	0,16	-0,27	0,44**	----	-0,32**	-0,22	-0,17	0,33**
	dysk	-0,13	0,11	0,56**	0,14	-0,10	0,19	----	0,10	0,19	0,09
	tyczka	0,02	0,25	-0,14	0,37*	-0,37*	-0,31	0,30	----	0,19	-0,24*
	oszczep	0,24	0,30	-0,20	0,19	-0,07	0,02	-0,08	0,34*	----	-0,21
	1500m	-0,37*	-0,31	0,44*	-0,21	0,32	0,03	0,15	-0,38*	-0,35*	----
III	100m	----	-0,51**	-0,08	-0,01	0,54**	0,53**	0,03	-0,04	-0,07	-0,23**
	w dal	-0,43**	----	-0,06	0,17	-0,40**	-0,19*	-0,25**	0,24**	0,21*	-0,05
	kula	-0,46**	0,46**	----	-0,03	-0,07	-0,09	0,60**	-0,18*	-0,02	0,34**
	wzwyż	0,07	0,29**	0,11	----	0,08	-0,09	0,03	-0,08	0,09	0,02
	400m	0,28**	-0,05	0,04	0,28**	----	0,36**	0,12	-0,20*	-0,09	0,19*
	110m	0,14	-0,16	-0,14	-0,29**	0,11	----	-0,10	0,02	-0,01	-0,02
	dysk	-0,18	0,17	0,64**	0,13	0,05	-0,23*	----	-0,24**	-0,06	0,36**
	tyczka	0,02	0,05	0,04	0,12	0,05	0,05	0,11	----	0,04	-0,03
	oszczep	0,00	0,11	0,13	0,08	-0,20	-0,13	0,13	0,05	----	0,02
	1500m	-0,39**	0,20	0,31**	-0,05	0,40**	0,04	0,15	0,05	-0,32**	----
IV	100m	----	-0,43**	0,07	-0,09	0,71**	0,46**	-0,12	-0,68**	0,08	0,11
	w dal	-0,57*	----	0,01	0,39*	-0,28	-0,23	-0,13	0,24	0,31	-0,08
	kula	0,32	0,05	----	0,06	0,33*	-0,10	0,28	-0,41*	0,01	0,46**
	wzwyż	-0,21	0,12	0,11	----	-0,16	-0,25	0,24	0,05	-0,14	0,33
	400m	0,00	0,04	0,16	-0,42	----	0,34*	0,10	-0,61**	0,20	0,25
	110m	-0,06	0,38	0,41	-0,11	0,05	----	-0,46**	-0,29	0,12	0,02
	dysk	-0,36	0,13	0,01	0,11	-0,17	-0,24	----	0,05	-0,14	0,36*
	tyczka	-0,15	-0,10	0,36	0,10	0,16	-0,26	0,49*	----	-0,08	-0,21
	oszczep	0,88**	-0,66**	0,35	-0,12	-0,18	0,09	-0,25	-0,07	----	-0,29
	1500m	-0,53*	0,40	0,21	-0,03	0,49*	-0,04	0,31	0,45	-0,63**	----

istotność statystyczna na poziomie: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Tabela 57. Porównanie zależności pomiędzy konkurencjami składowymi w grupie najlepszych zawodników świata startujących w latach 1968-1984 oraz 1960-1967 w czterech etapach rozwoju kariery

ŚWIAT 1968-1984

ETAP	ZMIENNA	ŚWIAT 1968-1984									
		100m	w dal	kula	wzwyż	400m	110m	dysk	tyczka	oszczep	1500m
I	100m	----	-0,48**	-0,21	0,01	0,57**	0,10	0,11	-0,03	0,15	0,02
	w dal	-0,65	----	0,51**	0,30	-0,67**	-0,20	0,21	0,15	0,09	-0,53**
	kula	0,63	-0,64	----	0,17	-0,24	-0,42*	0,42*	0,27	0,44**	-0,40*
	wzwyż	-0,84*	0,91*	-0,55	----	0,06	-0,03*	0,18	0,27	0,14	0,19
	400m	0,77	-0,75	0,76	-0,84*	----	0,20	0,08	-0,12	0,09	0,57**
	110m	0,95**	-0,52	0,68	-0,67	0,63	----	-0,20	-0,48**	-0,23	0,27
	dysk	0,06	-0,21	0,78	0,02	0,31	0,19	----	0,45**	0,36*	-0,11
	tyczka	-0,91*	0,78	-0,77	0,89*	-0,92**	-0,81	-0,31	----	0,16	-0,20
	oszczep	-0,21	0,69	-0,45	0,58	-0,65	0,00	-0,39	0,57	----	-0,20
	1500m	0,37	-0,76	0,44	-0,74	0,81	0,12	0,16	-0,65	-0,91*	----
II	100m	----	-0,32**	-0,04	0,07	0,46**	0,36**	0,01	0,00	0,08	-0,12
	w dal	-0,15	----	0,48**	0,48**	-0,38**	-0,41**	0,22*	0,42**	0,14	-0,26*
	kula	-0,25	-0,02	----	0,26*	-0,42**	-0,36**	0,67**	0,55**	0,68**	-0,33**
	wzwyż	0,11	0,13	0,12	----	-0,07	-0,28*	0,02	0,33**	0,11	-0,29**
	400m	0,50**	-0,42*	0,09	0,06	----	0,37**	-0,22*	-0,35**	-0,24*	0,40**
	110m	0,56**	-0,17	0,16	-0,27	0,44**	----	-0,16	-0,35**	-0,17	0,15
	dysk	-0,13	0,11	0,56**	0,14	-0,10	0,19	----	0,39**	0,57**	-0,20
	tyczka	0,02	0,25	-0,14	0,37*	-0,37*	-0,31	0,30	----	0,42**	-0,60**
	oszczep	0,24	0,30	-0,20	0,19	-0,07	0,02	-0,08	0,34*	----	-0,30**
	1500m	-0,37*	-0,31	0,44*	-0,21	0,32	0,03	0,15	-0,38*	-0,35*	----
III	100m	----	-0,39**	-0,24*	0,29**	0,55**	0,39**	-0,10	0,17	-0,09	-0,15
	w dal	-0,43**	----	0,29**	-0,06	-0,43**	-0,44**	0,01	0,33**	-0,10	-0,08
	kula	-0,46**	0,46**	----	-0,07	-0,20	-0,29**	0,53**	0,21	0,42**	-0,03
	wzwyż	0,07	0,29**	0,11	----	0,18	0,03	-0,08	0,15	0,04	-0,11
	400m	0,28**	-0,05	0,04	0,28**	----	0,34**	0,01	-0,18	-0,16	0,21*
	110m	0,14	-0,16	-0,14	-0,29**	0,11	----	-0,10	-0,20	-0,01	0,15
	dysk	-0,18	0,17	0,64**	0,13	0,05	-0,23*	----	-0,02	0,32**	-0,07
	tyczka	0,02	0,05	0,04	0,12	0,05	0,05	0,11	----	0,00	-0,25*
	oszczep	0,00	0,11	0,13	0,08	-0,20	-0,13	0,13	0,05	----	0,11
	1500m	-0,39**	0,20	0,31**	-0,05	0,40**	0,04	0,15	0,05	-0,32**	----
IV	100m	----	0,57	0,10	0,62*	0,32	0,12	0,35	0,25	0,02	-0,34
	w dal	-0,57*	----	0,20	0,62*	0,44	0,21	0,26	0,22	-0,10	-0,25
	kula	0,32	0,05	----	0,58	-0,28	-0,78**	0,69*	0,86**	0,28	-0,60
	wzwyż	-0,21	0,12	0,11	----	0,29	-0,45	0,76**	0,72*	0,37	-0,63*
	400m	0,00	0,04	0,16	-0,42	----	0,23	-0,25	-0,10	0,27	0,45
	110m	-0,06	0,38	0,41	-0,11	0,05	----	-0,57	-0,74**	-0,51	0,46
	dysk	-0,36	0,13	0,01	0,11	-0,17	-0,24	----	0,76**	0,35	-0,89**
	tyczka	-0,15	-0,10	0,36	0,10	0,16	-0,26	0,49*	----	0,21	-0,67*
	oszczep	0,88**	-0,66**	0,35	-0,12	-0,18	0,09	-0,25	-0,07	----	0,05
	1500m	-0,53*	0,40	0,21	-0,03	0,49*	-0,04	0,31	0,45	-0,63**	----

istotność statystyczna na poziomie: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Tabela 58. Porównanie zależności pomiędzy konkurencjami składowymi w grupie najlepszych zawodników z Polski i świata startujących w latach 1985-2015 w czterech etapach rozwoju kariery

ŚWIAT 1985-2015

ETAP	ZMIENNA										
		100m	w dal	kula	wzwyż	400m	110m	dysk	tyczka	oszczep	1500m
I	100 m	----	-0,22	-0,28	0,09	0,36*	0,52**	-0,41*	-0,09	-0,04	-0,09
	w dal	-0,72**	----	0,62**	0,40*	-0,57**	-0,65**	0,42*	0,26	0,43*	-0,27
	kula	-0,32*	0,11	----	0,09	-0,56**	-0,71**	0,65**	0,01	0,33	-0,35*
	wzwyż	-0,30	0,43**	0,42**	----	-0,08	-0,25	0,05	0,01	0,49**	-0,22
	400 m	0,71**	-0,73**	-0,23	-0,49**	----	0,61**	-0,58**	-0,34	-0,27	0,36*
	110 m	0,56**	-0,32*	-0,58**	-0,16	0,46**	----	-0,60**	-0,24	-0,38*	0,11
	dysk	-0,42**	0,24	0,75**	0,34*	-0,24	-0,60**	----	0,34	0,21	-0,14
	tyczka	-0,59**	0,54**	0,37*	0,46**	-0,61**	-0,41**	0,35*	----	-0,10	0,03
	oszczep	-0,57**	0,44**	0,62**	0,52**	-0,44**	-0,57**	0,61**	0,42**	----	-0,59**
	1500 m	0,15	-0,16	0,20	-0,09	0,50**	0,00	0,11	-0,13	0,08	----
II	100 m	----	-0,52**	-0,16	0,01	0,44**	0,43**	-0,27*	-0,16	0,00	-0,09
	w dal	-0,49**	----	0,27*	0,18	-0,45**	-0,46**	0,15	0,53**	0,20	-0,26*
	kula	-0,36**	0,17	----	0,33**	-0,26*	-0,26*	0,63**	0,15	0,26*	0,02
	wzwyż	0,06	0,31**	-0,11	----	-0,17	-0,23*	0,25*	0,23*	0,31**	-0,22*
	400 m	0,53**	-0,26*	-0,13	0,02	----	0,64**	-0,28*	-0,22*	-0,14	0,46**
	110 m	0,31**	-0,15	-0,25*	-0,11	0,52**	----	-0,32**	-0,22	-0,17	0,33**
	dysk	-0,13	0,03	0,61**	-0,25*	0,19	-0,14	----	0,10	0,19	0,09
	tyczka	-0,05	0,17	0,09	0,11	-0,09	-0,47**	0,11	----	0,19	-0,24*
	oszczep	-0,40**	0,35**	0,34**	0,07	-0,34**	-0,16	0,07	-0,17	----	-0,21
	1500 m	0,28*	-0,15	-0,14	0,21	0,60**	0,13	0,01	0,11	-0,27*	----
III	100 m	----	-0,51**	-0,08	-0,01	0,54**	0,53**	0,03	-0,04	-0,07	-0,23**
	w dal	-0,19	----	-0,06	0,17	-0,40**	-0,19*	-0,25**	0,24**	0,21*	-0,05
	kula	-0,37**	0,50**	----	-0,03	-0,07	-0,09	0,60**	-0,18	-0,02	0,34**
	wzwyż	-0,05	0,38**	0,30*	----	0,08	-0,09	0,03	-0,08	0,09	0,02
	400 m	0,54**	-0,37**	-0,28*	-0,32**	----	0,36**	0,12	-0,20*	-0,09	0,19*
	110 m	0,26*	-0,46**	-0,29*	-0,24*	0,38**	----	-0,10	0,02	-0,01	-0,02
	dysk	-0,06	0,16	0,42**	-0,07	0,09	-0,42**	----	-0,24**	-0,06	0,36**
	tyczka	-0,15	0,27*	0,06	0,26*	-0,36**	-0,48**	0,03	----	0,04	-0,03
	oszczep	0,00	0,06	0,23	0,08	0,25*	0,15	0,31*	-0,37**	----	0,02
	1500 m	0,10	-0,13	-0,08	-0,04	0,56**	0,14	-0,06	-0,19	0,26*	----
IV	100 m	----	-0,43**	0,07	-0,09	0,71**	0,46**	-0,12	-0,68**	0,08	0,11
	w dal	----	----	0,01	0,39*	-0,28	-0,23	-0,13	0,24	0,31	-0,08
	kula	----	----	----	0,06	0,33*	-0,10	0,28	-0,41*	0,01	0,46**
	wzwyż	----	----	----	----	-0,16	-0,25	0,24	0,05	-0,14	0,33*
	400 m	----	----	----	----	----	0,34*	0,10	-0,61**	0,20	0,25
	110 m	----	----	----	----	----	----	-0,46**	-0,29	0,12	0,02
	dysk	----	----	----	----	----	----	----	0,05	-0,14	0,36*
	tyczka	----	----	----	----	----	----	----	----	-0,08	-0,21
	oszczep	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-0,29
	1500 m	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

istotność statystyczna na poziomie: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Tabela 59. Porównanie zależności pomiędzy konkurencjami składowymi w grupie najlepszych zawodników z Polski startujących w latach 1985-2015 oraz 1968-1984 w czterech etapach rozwoju kariery

POLSKA 1985-2015

ETAP	ZMIENNA	POLSKA 1985-2015										
		100m	w dal	kula	wzwyż	400m	110m	dysk	tyczka	oszczep	1500m	
I	100m	-----	-0,72**	-0,32*	-0,30	0,71**	0,56**	-0,42**	-0,59**	-0,57**	0,15	
	w dal	-0,33	-----	0,11	0,43**	-0,73**	-0,32*	0,24	0,54**	0,44**	-0,16	
	kula	-0,58**	0,38*	-----	0,42**	-0,23	-0,58**	0,75**	0,37*	0,62**	0,20	
	wzwyż	-0,10	0,44*	-0,06	-----	-0,49**	-0,16	0,34*	0,46**	0,52**	-0,09	
	400m	0,61**	-0,42*	-0,64**	-0,19	-----	0,46**	-0,24	-0,61**	-0,44**	0,50**	
	110m	0,34	-0,25	-0,45*	-0,22	0,41*	-----	-0,60**	-0,41**	-0,57**	0,00	
	dysk	-0,53**	0,23	0,68**	-0,10	-0,61**	-0,47**	-----	0,35*	0,61**	0,11	
	tyczka	-0,48**	0,60**	0,50**	0,40*	-0,68**	-0,51**	0,37*	-----	0,42**	-0,13	
	oszczep	-0,33	0,55**	0,39*	-0,02	-0,39*	0,12	0,16	0,24	-----	0,08	
	1500m	0,14	-0,19	-0,35	-0,08	0,44*	0,16	-0,38*	-0,39*	-0,08	-----	
II	100m	-----	-0,49**	-0,36**	0,06	0,53**	0,31**	-0,13	-0,05	-0,40**	0,28*	
	w dal	-0,44**	-----	0,17	0,31**	-0,26*	-0,15	0,03	0,17	0,35**	-0,15	
	kula	-0,08	0,31**	-----	-0,11	-0,13	-0,25*	0,61**	0,09	0,34**	-0,14	
	wzwyż	-0,15	0,40**	0,14	-----	0,02	-0,11	-0,25*	0,11	0,07	0,21	
	400m	0,33**	-0,36**	-0,02	-0,37**	-----	0,52**	0,19	-0,09	-0,34**	0,60**	
	110m	0,32**	-0,40**	-0,08	-0,35**	0,64**	-----	-0,14	-0,47**	-0,16	0,13	
	dysk	-0,11	0,22*	0,55**	0,10	-0,01	-0,01	-----	0,11	0,07	0,01	
	tyczka	-0,24*	0,36**	0,27**	0,32**	-0,31**	-0,16	0,31**	-----	-0,17	0,11	
	oszczep	-0,18	0,30**	0,40**	-0,01	0,11	-0,06	0,21*	0,29**	-----	-0,27*	
	1500m	-0,01	-0,01	0,13	0,03	0,45**	0,12	0,10	-0,01	0,22*	-----	
III	100m	----	-0,19	-0,37**	-0,05	0,54**	0,26*	-0,06	-0,15	0,00	0,10	
	w dal	-0,62**	-----	0,50**	0,38**	-0,37**	-0,46**	0,16	0,27*	0,06	-0,13	
	kula	-0,23*	0,27*	-----	0,30*	-0,28*	-0,29*	0,42**	0,06	0,23	-0,08	
	wzwyż	-0,17	0,51**	0,15	-----	-0,32**	-0,24*	-0,07	0,26*	0,08	-0,04	
	400m	0,42**	-0,38**	0,02	-0,24*	-----	0,38**	0,09	-0,36**	0,25*	0,56**	
	110m	0,12	-0,15	-0,13	-0,06	0,48**	-----	-0,42**	-0,48**	0,15	0,14	
	dysk	-0,21	0,30**	0,69**	0,21	0,12	-0,04	-----	0,03	0,31*	-0,06	
	tyczka	-0,21	0,31**	0,35**	0,29**	-0,12	-0,23	0,48**	-----	-0,37**	-0,19	
	oszczep	-0,53**	0,37**	0,54**	0,16	-0,11	-0,12	0,56**	0,35**	-----	0,26*	
	1500m	-0,05	-0,09	0,17	-0,17	0,55**	0,37**	0,39**	-0,01	0,25*	-----	
IV	100m	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
	w dal	-0,48	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
	kula	-0,97*	0,68	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
	wzwyż	-0,91	0,35	0,84	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
	400m	-0,44	0,69	0,54	0,63	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
	110m	0,80	-0,54	-0,84	-0,48	-0,04	-----	-----	-----	-----	-----	
	dysk	-0,99**	0,44	0,95	0,95*	0,50	-0,73	-----	-----	-----	-----	
	tyczka	-0,99**	0,55	0,98*	0,94	0,56	-0,75	0,99**	-----	-----	-----	
	oszczep	-0,89	0,80	0,97*	0,70	0,50	-0,88	0,85	0,90	-----	-----	
	1500m	0,74	0,23	-0,55	-0,79	-0,05	0,41	-0,77	-0,69	-0,36	-----	

istotność statystyczna na poziomie: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Tabela 60. Porównanie zależności pomiędzy konkurencjami składowymi w grupie najlepszych zawodników z Polski i świata startujących w latach 1968-1984 w czterech etapach rozwoju kariery

ŚWIAT 1968-1984

ETAP	ZMIENNA	ŚWIAT 1968-1984									
		100 m	w dal	kula	wzwyż	400 m	110 m	dysk	tyczka	oszczep	1500 m
I	100 m	----	-0,48**	-0,21	0,01	0,57**	0,10	0,11	-0,03	0,15	0,02
	w dal	-0,33	----	0,51**	0,30	-0,67**	-0,20	0,21	0,15	0,09	-0,53**
	kula	-0,58**	0,38*	----	0,17	-0,24	-0,42*	0,42*	0,27	0,44**	-0,40*
	wzwyż	-0,10	0,44*	-0,06	----	0,06	-0,03*	0,18	0,27	0,14	0,19
	400 m	0,61**	-0,42*	-0,64**	-0,19	----	0,20	0,08	-0,12	0,09	0,57**
	110 m	0,34	-0,25	-0,45*	-0,22	0,41*	----	-0,20	-0,48**	-0,23	0,27
	dysk	-0,53**	0,23	0,68**	-0,10	-0,61**	-0,47**	----	0,45**	0,36*	-0,11
	tyczka	-0,48**	0,60**	0,50**	0,40*	-0,68**	-0,51**	0,37*	----	0,16	-0,20
	oszczep	-0,33	0,55**	0,39*	-0,02	-0,39*	0,12	0,16	0,24	----	-0,20
1500 m	0,14	-0,19	-0,35	-0,08	0,44*	0,16	-0,38*	-0,39*	-0,08	----	
II	100 m	----	-0,32**	-0,04	0,07	0,46**	0,36**	0,01	0,00	0,08	-0,12
	w dal	-0,44**	----	0,48**	0,48**	-0,38**	-0,41**	0,22*	0,42**	0,14	-0,26*
	kula	-0,08	0,31**	----	0,26*	-0,42**	-0,36**	0,67**	0,55**	0,68**	-0,33**
	wzwyż	-0,15	0,40**	0,14	----	-0,07	-0,28*	0,02	0,33**	0,11	-0,29**
	400 m	0,33**	-0,36**	-0,02	-0,37**	----	0,37**	-0,22*	-0,35**	-0,24*	0,40**
	110 m	0,32**	-0,40**	-0,08	-0,35**	0,64**	----	-0,16	-0,35**	-0,17	0,15
	dysk	-0,11	0,22*	0,55**	0,10	-0,01	-0,01	----	0,39**	0,57**	-0,20
	tyczka	-0,24*	0,36**	0,27**	0,32**	-0,31**	-0,16	0,31**	----	0,42**	-0,60**
	oszczep	-0,18	0,30**	0,40**	-0,01	0,11	-0,06	0,21*	0,29**	----	-0,30**
1500 m	-0,01	-0,01	0,13	0,03	0,45**	0,12	0,10	-0,01	0,22*	----	
III	100 m	----	-0,39**	-0,24*	0,29**	0,55**	0,39**	-0,10	0,17	-0,09	-0,15
	w dal	-0,62**	----	0,29**	-0,06	-0,43**	-0,44**	0,01	0,33**	-0,10	-0,08
	kula	-0,23*	0,27*	----	-0,07	-0,20	-0,29**	0,53**	0,21	0,42**	-0,03
	wzwyż	-0,17	0,51**	0,15	----	0,18	0,03	-0,08	0,15	0,04	-0,11
	400 m	0,42**	-0,38**	0,02	-0,24*	----	0,34**	0,01	-0,18	-0,16	0,21*
	110 m	0,12	-0,15	-0,13	-0,06	0,48**	----	-0,10	-0,20	-0,01	0,15
	dysk	-0,21	0,30**	0,69**	0,21	0,12	-0,04	----	-0,02	0,32**	-0,07
	tyczka	-0,21	0,31**	0,35**	0,29**	-0,12	-0,23*	0,48**	----	0,00	-0,25*
	oszczep	-0,53**	0,37**	0,54**	0,16	-0,11	-0,12	0,56**	0,35**	----	0,11
1500 m	-0,05	-0,09	0,17	-0,17	0,55**	0,37**	0,39**	-0,01	0,25	----	
IV	100 m	----	0,57	0,10	0,62*	0,32	0,12	0,35	0,25	0,02	-0,34
	w dal	-0,48	----	0,20	0,62*	0,44	0,21	0,26	0,22	-0,10	-0,25
	kula	-0,97*	0,68	----	0,58	-0,28	-0,78**	0,69*	0,86**	0,28	-0,60
	wzwyż	-0,91	0,35	0,84	----	0,29	-0,45	0,76**	0,72*	0,37	-0,63*
	400 m	-0,44	0,69	0,54	0,63	----	0,23	-0,25	-0,10	0,27	0,45
	110 m	0,80	-0,54	-0,84	-0,48	-0,04	----	-0,57	-0,74**	-0,51	0,46
	dysk	-0,99**	0,44	0,95	0,95*	0,50	-0,73	----	0,76**	0,35	-0,89**
	tyczka	-0,99**	0,55	0,98*	0,94	0,56	-0,75	0,99**	----	0,21	-0,67*
	oszczep	-0,89	0,80	0,97*	0,70	0,50	-0,88	0,85	0,90	----	0,05
1500 m	0,74	0,23	-0,55	-0,79	-0,05	0,41	-0,77	-0,69	-0,36	----	

istotność statystyczna na poziomie: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Tabela 61. Błędy RMSE_{CV} generowane przez sieć RBF w każdym z protokołów w zależności od liczby neuronów warstwy ukrytej dla zawodników z Polski i świata

N	ŚWIAT			POLSKA		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
2	87,06	124,54	83,89	157,16	166,79	118,87
3	87,58	124,33	85,99	213,62	166,12	121,87
4	88,27	124,66	84,76	154,95	164,04	108,19
5	38215,09	119,96	84,04	157,86	172,14	121,64
6	91,49	4871,62	91,69	158,75	4726,08	118,11
7	84,55	125,21	81,27	165,89	160,46	6427,95
8	117,21	131,07	84,20	157,75	132583,70	126,72
9	172,78	127,36	81,95	5019,66	150,62	113,87
10	86,48	212,63	86,66	158,98	171,87	121,87

SPIS TABEL

Tabela 1. Charakterystyki opisowe badanych grup w trzech okresach rozwoju lekkiej atletyki	31
Tabela 2. Istotność różnic uzyskiwanych wyników końcowych w badanych okresach rozwoju lekkiej atletyki.....	31
Tabela 3. Podstawowe statystyki opisowe w grupie zawodników świata (1-25) startujących w latach 1985–2015 (n = 282).....	32
Tabela 4. Podstawowe statystyki opisowe w grupie zawodników świata (26-50) startujących w latach 1985–2015 (n = 280).....	33
Tabela 5. Podstawowe statystyki opisowe w grupie zawodników świata (1–25) startujących w latach 1968–1984 (n = 213).....	34
Tabela 6. Podstawowe statystyki opisowe w grupie zawodników świata (26–50) startujących w latach 1968–1984 (n = 211).....	34
Tabela 7. Podstawowe statystyki opisowe w grupie zawodników świata (1–25) startujących w latach 1960–1967 (n = 143).....	35
Tabela 8. Podstawowe statystyki opisowe w grupie 25 najlepszych polskich zawodników startujących w latach 1985–2015 (n = 194)	36
Tabela 9. Podstawowe statystyki opisowe w grupie 25 najlepszych polskich zawodników startujących w latach 1968–1984 (n = 210)	36
Tabela 10. Modele segmentowe dla badanych okresów	42
Tabela 11. Charakterystyka liczbowa wartości metrycznych dla zebranego materiału badawczego wśród najlepszych zawodników z Polski i świata.....	53
Tabela 12. Istotność różnic między wynikami metrycznymi uzyskanymi w konkurencjach składowych w poszczególnych okresach historii lekkiej atletyki	54
Tabela 13. Charakterystyka liczbowa wartości punktowych dla zebranego materiału badawczego w latach 1985–2015	56
Tabela 14. Charakterystyka wartości metrycznych poszczególnych konkurencji składowych dziesięcioboju z uwzględnieniem przyjętych etapów rozwoju sportowego w grupie 50 zawodników z grupy światowej startujących w latach 1985–2015.....	58
Tabela 15. Charakterystyka wartości punktowych poszczególnych konkurencji składowych dziesięcioboju z uwzględnieniem przyjętych etapów rozwoju sportowego w grupie 50 zawodników z grupy światowej startujących w latach 1985–2015.....	59
Tabela 16. Charakterystyka wartości metrycznych poszczególnych konkurencji składowych dziesięcioboju z uwzględnieniem przyjętych etapów rozwoju sportowego w grupie 50 zawodników z grupy światowej startujących w latach 1968–1984.....	59
Tabela 17. Charakterystyka wartości metrycznych poszczególnych konkurencji składowych dziesięcioboju z uwzględnieniem przyjętych etapów rozwoju sportowego w grupie 25 zawodników z grupy światowej startujących w latach 1960–1967.....	60
Tabela 18. Charakterystyka wartości metrycznych poszczególnych konkurencji składowych dziesięcioboju z uwzględnieniem przyjętych etapów rozwoju sportowego w grupie 25 polskich zawodników startujących w latach 1985–2015.....	62
Tabela 19. Charakterystyka wartości punktowych poszczególnych konkurencji składowych dziesięcioboju z uwzględnieniem przyjętych etapów rozwoju sportowego w grupie 25 polskich zawodników startujących w latach 1985–2015.....	62

Tabela 20. Charakterystyka wartości metrycznych poszczególnych konkurencji składowych dziesięcioboju z uwzględnieniem przyjętych etapów rozwoju sportowego w grupie 25 polskich zawodników startujących w latach 1968–1984.....	63
Tabela 21. Analiza wpływu poszczególnych konkurencji składowych na wynik końcowy dziesięcioboju z uwzględnieniem wartości metrycznych w grupach 25 najlepszych zawodników z Polski i świata	64
Tabela 22. Analiza wpływu poszczególnych konkurencji składowych na wynik końcowy dziesięcioboju z uwzględnieniem wartości punktowych (1985-2015)	65
Tabela 23. Zależności pomiędzy rezultatami konkurencji składowych w grupie 25 najlepszych zawodników świata startujących w latach 1985–2015	66
Tabela 24. Zależności pomiędzy rezultatami konkurencji składowych w grupie 25 najlepszych zawodników świata startujących w latach 1968–1984	67
Tabela 25. Zależności pomiędzy rezultatami konkurencji składowych w grupie 25 najlepszych zawodników świata startujących w latach 1960–1967	67
Tabela 26. Zależności pomiędzy rezultatami konkurencji składowych w grupie najlepszych polskich zawodników startujących w latach 1985–2015.....	68
Tabela 27. Zależności pomiędzy rezultatami konkurencji składowych w grupie najlepszych polskich zawodników startujących w latach 1968–1984.....	68
Tabela 28. Analiza wpływu poszczególnych konkurencji składowych na wynik końcowy dziesięcioboju z uwzględnieniem wartości metrycznych oraz okresów rozwoju sportowego w grupie świat w latach 1985–2015.....	69
Tabela 29. Analiza wpływu (r_{xy}) poszczególnych konkurencji składowych na wynik końcowy dziesięcioboju z uwzględnieniem przelicznika punktowego w grupie świat w okresie 1985–2015.....	69
Tabela 30. Analiza wpływu (r_{xy}) poszczególnych konkurencji składowych na wynik końcowy dziesięcioboju z uwzględnieniem wartości metrycznych w grupie polskich zawodników w okresie 1985–2015.....	71
Tabela 31. Analiza wpływu (r_{xy}) poszczególnych konkurencji składowych na wynik końcowy dziesięcioboju z uwzględnieniem przelicznika punktowego w grupie polskich zawodników w okresie 1985–2015 (1–25).....	72
Tabela 32. Zależności pomiędzy konkurencjami w grupie najlepszych 25 zawodników ze świata startujących w latach 1985–2015 (1–25)	73
Tabela 33. Zależności pomiędzy konkurencjami w drugiej grupie zawodników ze świata startujących w latach 1985–2015 (25–50).....	74
Tabela 34. Zależności pomiędzy konkurencjami w grupie najlepszych polskich zawodników startujących w latach 1985–2015	75
Tabela 35. Wartości oczekiwane procentowych przyrostów punktowych dla teoretycznego modelu kariery dziesięciobojowej w grupie świat	118
Tabela 36. Wartości oczekiwane procentowych przyrostów punktowych dla teoretycznego modelu kariery dziesięciobojowej w polskiej grupie.....	118
Tabela 37. Porównanie wyników analizy PCA w światowej grupie dziesięciobojowej.....	129
Tabela 38. Porównanie wyników analizy PCA w polskiej grupie dziesięciobojowej	131
Tabela 39. Analiza wpływu poszczególnych konkurencji składowych na wynik końcowy dziesięcioboju z uwzględnieniem wartości metrycznych w grupie zawodników świata (1–25) startujących w okresie 1968–1984.....	144

Tabela 40. Analiza wpływu poszczególnych konkurencji składowych na wynik końcowy dziesięcioboju z uwzględnieniem wartości metrycznych w grupie zawodników świata (1–25) startującej w okresie 1960–1967	144
Tabela 41. Wartości własne składowych głównych w grupie zawodników świata (1–25) startującej w okresie 1985–2015	144
Tabela 42. Udział zmiennych w utworzonych składowych głównych w grupie zawodników świata (1–25) startującej w okresie 1985–2015.....	144
Tabela 43. Wartości własne składowych głównych w grupie zawodników świata (26–50) startującej w okresie 1985–2015	145
Tabela 44. Udział zmiennych w utworzonych składowych głównych w grupie zawodników świata (26–50) startującej w okresie 1985–2015	145
Tabela 45. Wartości własne składowych głównych w grupie polskich zawodników startujących w okresie 1985–2015	145
Tabela 46. Udział zmiennych w utworzonych składowych głównych w polskiej grupie startującej w okresie 1985–2015.....	145
Tabela 47. Wartości własne składowych głównych w grupie zawodników świata (1–25) startującej w okresie 1968–1984	146
Tabela 48. Udział zmiennych w utworzonych składowych głównych w grupie zawodników świata (1–25) startującej w okresie 1968–1984.....	146
Tabela 49. Wartości własne składowych głównych w grupie zawodników świata (26–50) startującej w okresie 1968–1984	146
Tabela 50. Udział zmiennych w utworzonych składowych głównych w grupie zawodników świata (26–50) startującej w okresie 1968–1984	146
Tabela 51. Wartości własne składowych głównych w grupie polskich zawodników startujących w okresie 1968–1984	147
Tabela 52. Udział zmiennych w utworzonych składowych głównych w polskiej grupie startującej w okresie 1968–1984	147
Tabela 53. Wartości własne składowych głównych w grupie zawodników świata startującej w okresie 1960–1968.....	147
Tabela 54. Udział zmiennych w utworzonych składowych głównych w grupie zawodników świata startującej w okresie 1960–1968.....	147
Tabela 55. Porównanie zależności pomiędzy konkurencjami składowymi w grupie najlepszych zawodników świata startujących w latach 1985–2015 oraz 1968–1984 w czterech etapach rozwoju kariery	148
Tabela 56. Porównanie zależności pomiędzy konkurencjami składowymi w grupie najlepszych zawodników świata startujących w latach 1985–2015 oraz 1960–1967 w czterech etapach rozwoju kariery	149
Tabela 57. Porównanie zależności pomiędzy konkurencjami składowymi w grupie najlepszych zawodników świata startujących w latach 1968–1984 oraz 1960–1967 w czterech etapach rozwoju kariery	150
Tabela 58. Porównanie zależności pomiędzy konkurencjami składowymi w grupie najlepszych zawodników z Polski i świata startujących w latach 1985–2015 w czterech etapach rozwoju kariery	151
Tabela 59. Porównanie zależności pomiędzy konkurencjami składowymi w grupie najlepszych zawodników z Polski startujących w latach 1985–2015 oraz 1968–1984 w czterech etapach rozwoju kariery	152

Tabela 60. Porównanie zależności pomiędzy konkurencjami składowymi w grupie najlepszych zawodników z Polski i świata startujących w latach 1968-1984 w czterech etapach rozwoju kariery 153

Tabela 61. Błędy $RMSE_{CV}$ generowane przez sieć RBF w każdym z protokołów w zależności od liczby neuronów warstwy ukrytej dla zawodników z Polski i świata.....153

SPIS RYCIN

Rycina 1. Materiał badawczy uwzględniający badane okresy	25
Rycina 2. Przykładowa struktura sieci RBF	29
Rycina 3. Analiza regresji segmentowej w ujęciu protokołu pierwszego dla okresu 1985–2015.....	37
Rycina 4. Analiza regresji segmentowej w ujęciu protokołu drugiego dla okresu 1985–2015.....	38
Rycina 5. Analiza regresji segmentowej w ujęciu protokołu trzeciego dla okresu 1985–2015	38
Rycina 6. Analiza regresji segmentowej w ujęciu protokołu pierwszego dla okresu 1960–1984.....	40
Rycina 7. Analiza regresji segmentowej w ujęciu protokołu drugiego dla okresu 1960–1984.....	41
Rycina 8. Analiza regresji segmentowej w ujęciu protokołu trzeciego dla okresu 1960–1984	41
Rycina 9. Wartości indeksów jednopodstawowych w grupie dziesięciooboistów z Polski i świata startujących w latach 1985–2015 w ujęciu protokołu pierwszego.....	43
Rycina 10. Wartości indeksów jednopodstawowych w grupie dziesięciooboistów z Polski i świata startujących w latach 1985–2015 w ujęciu protokołu drugiego.....	44
Rycina 11. Wartości indeksów jednopodstawowych w grupie dziesięciooboistów z Polski i świata startujących w latach 1985–2015 w ujęciu protokołu trzeciego	44
Rycina 12. Wartości indeksów jednopodstawowych w grupie dziesięciooboistów z Polski i świata startujących w latach 1960–1984 w ujęciu protokołu pierwszego.....	45
Rycina 13. Wartości indeksów jednopodstawowych w grupie dziesięciooboistów z Polski i świata startujących w latach 1960–1984 w ujęciu protokołu drugiego.....	46
Rycina 14. Wartości indeksów jednopodstawowych w grupie dziesięciooboistów z Polski i świata startujących w latach 1960–1984 w ujęciu protokołu trzeciego	47
Rycina 15. Wartości indeksów łańcuchowych w grupie dziesięciooboistów z Polski i świata startujących w latach 1985–2015 w ujęciu protokołu pierwszego.....	49
Rycina 16. Wartości indeksów łańcuchowych w grupie dziesięciooboistów z Polski i świata startujących w latach 1985–2015 w ujęciu protokołu drugiego.....	49
Rycina 17. Wartości indeksów łańcuchowych w grupie dziesięciooboistów z Polski i świata startujących w latach 1985–2015 w ujęciu protokołu trzeciego	50
Rycina 18. Wartości indeksów łańcuchowych w grupie dziesięciooboistów z Polski i świata startujących w latach 1960–1984 w ujęciu protokołu pierwszego.....	50
Rycina 19. Wartości indeksów łańcuchowych w grupie dziesięciooboistów z Polski i świata startujących w latach 1960–1984 w ujęciu protokołu drugiego.....	52
Rycina 20. Wartości indeksów łańcuchowych w grupie dziesięciooboistów z Polski i świata startujących w latach 1960–1984 w ujęciu protokołu trzeciego	52
Rycina 21. Wartości współczynników korelacji liniowej Pearsona dla poszczególnych konkurencji składowych oraz wyniku w grupie najlepszych zawodników świata (1985–2015).....	76
Rycina 22. Wartości własne składowych głównych – interpretacja graficzna (1985–2015)	77
Rycina 23. Udział zmiennych w pierwszej składowej głównej (1985–2015).....	78
Rycina 24. Udział zmiennych w drugiej składowej głównej (1985–2015).....	78
Rycina 25. Udział zmiennych w trzeciej składowej głównej (1985–2015)	78
Rycina 26. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez pierwszą i drugą składową główną (1985–2015)	80

Rycina 27. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez pierwszą i trzecią składową główną (1985–2015)	80
Rycina 28. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez drugą i trzecią składową główną (1985–2015)	81
Rycina 29. Wartości współczynników korelacji liniowej Pearsona dla poszczególnych konkurencji składowych oraz wyniku w drugiej grupie zawodników świata (1985–2015)	82
Rycina 30. Wartości własne składowych głównych – interpretacja graficzna (1985–2015)	83
Rycina 31. Udział zmiennych w pierwszej składowej głównej (1985–2015)	83
Rycina 32. Udział zmiennych w drugiej składowej głównej (1985–2015)	83
Rycina 33. Udział zmiennych w trzeciej składowej głównej (1985–2015)	84
Rycina 34. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez pierwszą i drugą składową główną (1985–2015)	85
Rycina 35. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez pierwszą i trzecią składową główną (1985–2015)	85
Rycina 36. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez drugą i trzecią składową główną (1985–2015)	86
Rycina 37. Wartości współczynników korelacji liniowej Pearsona dla poszczególnych konkurencji składowych oraz wyniku w grupie najlepszych polskich zawodników (1985–2015)	87
Rycina 38. Wartości własne składowych głównych – interpretacja graficzna (1985–2015)	87
Rycina 39. Udział zmiennych w pierwszej składowej głównej (1985–2015)	88
Rycina 40. Udział zmiennych w drugiej składowej głównej (1985–2015)	88
Rycina 41. Udział zmiennych w trzeciej składowej głównej (1985–2015)	89
Rycina 42. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez pierwszą i drugą składową główną (1985–2015)	89
Rycina 43. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez drugą i trzecią składową główną (1985–2015)	90
Rycina 44. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez pierwszą i trzecią składową główną (1985–2015)	90
Rycina 45. Wartości współczynników korelacji liniowej Pearsona dla poszczególnych konkurencji składowych oraz wyniku w grupie najlepszych zawodników świata (1968–1984)	91
Rycina 46. Wartości własne składowych głównych – interpretacja graficzna (1968–1984)	91
Rycina 47. Udział zmiennych w pierwszej składowej głównej (1968–1984)	92
Rycina 48. Udział zmiennych w drugiej składowej głównej (1968–1984)	92
Rycina 49. Udział zmiennych w trzeciej składowej głównej (1968–1984)	93
Rycina 50. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez pierwszą i drugą składową główną (1968–1984)	94
Rycina 51. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez pierwszą i trzecią składową główną (1968–1984)	94
Rycina 52. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez drugą i trzecią składową główną (1968–1984)	95
Rycina 53. Wartości współczynników korelacji liniowej Pearsona dla poszczególnych konkurencji składowych oraz wyniku w drugiej grupie zawodników świata (1968–1984)	96

Rycina 54. Wartości własne składowych głównych – interpretacja graficzna (1968–1984)	97
Rycina 55. Udział zmiennych w pierwszej składowej głównej (1968–1984).....	97
Rycina 56. Udział zmiennych w drugiej składowej głównej (1968–1984).....	98
Rycina 57. Udział zmiennych w trzeciej składowej głównej (1968–1984)	98
Rycina 58. Udział zmiennych w czwartej składowej głównej (1968–1984).....	98
Rycina 59. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez pierwszą i drugą składową główną (1968–1984)	99
Rycina 60. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez pierwszą i trzecią składową główną (1968–1984)	100
Rycina 61. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez pierwszą i czwartą składową główną (1968–1984)	101
Rycina 62. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez drugą i trzecią składową główną (1968–1984)	101
Rycina 63. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez drugą i czwartą składową główną (1968–1984)	102
Rycina 64. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez trzecią i czwartą składową główną (1968–1984)	102
Rycina 65. Wartości współczynników korelacji liniowej Pearsona dla poszczególnych konkurencji składowych oraz wyniku w grupie najlepszych polskich zawodników świata (1968–1984)	103
Rycina 66. Wartości własne składowych głównych – interpretacja graficzna (1968–1984)	104
Rycina 67. Udział zmiennych w pierwszej składowej głównej (1968–1984).....	104
Rycina 68. Udział zmiennych w drugiej składowej głównej (1968–1984).....	104
Rycina 69. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez pierwszą i drugą składową główną (1968–1984)	105
Rycina 70. Wartości współczynników korelacji liniowej Pearsona dla poszczególnych konkurencji składowych oraz wyniku w grupie najlepszych zawodników świata (1960–1967).....	106
Rycina 71. Wartości własne składowych głównych – interpretacja graficzna (1960–1967)	106
Rycina 72. Udział zmiennych w pierwszej składowej głównej (1960–1967).....	107
Rycina 73. Udział zmiennych w drugiej składowej głównej (1960–1967).....	107
Rycina 74. Udział zmiennych w trzeciej składowej głównej (1960–1967)	108
Rycina 75. Udział zmiennych w czwartej składowej głównej (1960–1967).....	108
Rycina 76. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez pierwszą i drugą składową główną (1960–1967)	109
Rycina 77. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez pierwszą i trzecią składową główną (1960–1967)	109
Rycina 78. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez pierwszą i czwartą składową główną (1960–1967)	110
Rycina 79. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez drugą i trzecią składową główną (1960–1967)	110
Rycina 80. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez drugą i czwartą składową główną (1960–1967)	111

Rycina 81. Projekcja zmiennych na mapę czynników opisaną przez trzecią i czwartą składową główną (1960–1967).....	112
Rycina 82. Wartości błędów w poszczególnych protokołach badawczych dla grupy najlepszych zawodników świata.....	114
Rycina 83. Wartości błędów w poszczególnych protokołach badawczych dla grupy najlepszych polskich zawodników.....	114
Rycina 84. Przewidywany przebieg kariery dziesięciobojowej w Polsce i na świecie z uwzględnieniem wieku zawodników	115
Rycina 85. Przewidywany przebieg kariery dziesięciobojowej w Polsce i na świecie z uwzględnieniem kolejnych lat treningu zawodniczego	116
Rycina 86. Przewidywany przebieg kariery dziesięciobojowej w Polsce i na świecie z uwzględnieniem lat przed i po rekordzie życiowym zawodników	116

STRESZCZENIE

WPLYW POSZCZEGÓLNYCH KONKURENCJI NA KOŃCOWY WYNIK DZIESIĘCIOBOJU LEKKOATLETYCZNEGO NA RÓŻNYCH ETAPACH KARIERY SPORTOWEJ

Dziesięciobój to prawdopodobnie jedna z najtrudniejszych i wymagających konkurencji lekkoatletycznych, którą rozgrywa się od końca 1911 roku. Złożoność tej formy wielobojowego współzawodnictwa, spowodowana liczbą i różnorodnością konkurencji składowych, trudnym i czasochłonnym procesem treningowym oraz mnogością czynników wpływających na końcowy rezultat, powoduje, że była ona często przedmiotem badań naukowych.

Głównym celem pracy była analiza przebiegu karier najlepszych dziesięcioboistów z Polski i świata prowadząca do zbadania wpływu poszczególnych konkurencji składowych na wynik końcowy dziesięcioboju na czterech etapach rozwoju kariery i w trzech okresach historii lekkoatletycznego wieloboju męskiego (1985–2015, 1968–1984, 1960–1967).

Zebrany materiał badawczy, obejmujący dane o 1533 najlepszych startach w każdym roku kariery wybranych zawodników, zawierał informacje dotyczące rezultatu końcowego i wyników częściowych uzyskanych w poszczególnych konkurencjach dziesięcioboju. Zgromadzone dane przyporządkowano do trzech protokołów badawczych (uwzględniających wiek, kolejne lata startów oraz lata przed i po uzyskaniu rekordu życiowego) oraz czterech etapów rozwoju zawodniczego (etap juniora, młodzieżowca, mistrzostwa sportowego oraz okres obniżenia wyników).

Do scharakteryzowania zmian zachodzących w czasie trwania karier zawodniczych zastosowano m.in. podstawowe miary i testy statystyczne (ANOVA), model regresji segmentowej oraz analizę szeregów czasowych (indeksy jednopodstawowe i łańcuchowe). Dodatkowo, określając wpływ poszczególnych konkurencji składowych na wynik końcowy i badając zależności pomiędzy samymi składowymi, użyto analizy korelacji liniowej Pearsona. W niniejszej pracy wykorzystano również zaawansowane modele matematyczne służące predykcji teoretycznych przebiegów karier dziesięciobojowych polskich i zagranicznych zawodników (sztuczne sieci neuronowe – RBF) oraz zbadaniu złożoności i wewnętrznej struktury lekkoatletycznego dziesięcioboju (analiza składowych głównych – PCA).

Analiza przebiegu karier czołowych zawodników z Polski i świata przeprowadzona w niniejszej pracy pozwoliła na określenie optymalnego wieku mistrzostwa sportowego, wykazanie, które grupy zawodnicze lub etapy rozwoju sportowego istotnie różnicują poziomy osiągniętych wyników końcowych i częściowych. Dodatkowo zaobserwowano liczne i istotne statystycznie zależności pomiędzy dziesięcioma konkurencjami składowymi, mającymi również wpływ na wynik końcowy oraz zdefiniowanie czynników określających wewnętrzną strukturę dziesięcioboju związaną z osiąganymi rezultatami. Ponadto, zastosowane sieci RBF umożliwiło modelowanie i estymację teoretycznego przebiegu karier dziesięcioboju.

Przeprowadzone analizy oraz otrzymane wyniki pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

- Czas trwania kariery sportowej zawodników startujących współcześnie (okres 1985–2015) wydłuża się, a optymalny wiek dziesięcioboistów, w którym osiągają oni rekordowe wyniki (zarówno w grupie najlepszych wieloboistów świata oraz Polaków), wynosi 27 lat. Czołowi zawodnicy startujący współcześnie potrzebują ok. 10 lat na uzyskanie najlepszych wyników.
- Model regresji segmentowej zobrazował ciągły i dynamiczny postęp uzyskiwanych wyników w początkowych i późniejszych latach kariery, który trwa aż do osiągnięcia przez zawodników wyników na najwyższym poziomie. Po tym okresie następuje ciągły spadek poziomu przeciętnych rezultatów końcowych.
- W grupie najlepszych zawodników świata wyniki uzyskiwane w konkurencjach częściowych istotnie różnicują kolejne etapy rozwoju sportowego. Uwzględniając poszczególne konkurencje, etap II charakteryzuje się najlepszymi wynikami w biegu na 1500 m, etap III to dominacja większości konkurencji szybkościowych i siłowo-szybkościowych, a etap IV to najlepsze wyniki w pchnięciu kulą (zdolności siłowe) oraz w skoku o tyczce (umiejętności techniczne).
- Wpływ konkurencji składowych na końcowy wynik dziesięcioboju zmienia się w całym okresie „ontogenezy sportowej”. Obecnie (1985-2015) największe znaczenie mają wyniki w konkurencjach szybkościowych (100 m, skok w dal, 400 m, 110 m przez płotki), a także w pchnięciu kulą i w skoku o tyczce.
- Zależności między poszczególnymi konkurencjami mają podstawę motoryczną. Związki konkurencji szybkościowych (100 m – skok w dal – 400 m – 110 m przez płotki) są istotne, a ich siła wzrasta w kolejnych okresach badań (od 1968 do 2015 r.). Najmniejsze

zależności z pozostałymi konkurencjami zaobserwowano w trudnych konkurencjach technicznych (skok wzwyż i skok o tyczce) oraz w biegu na 1500 m.

- Analiza składowych głównych pozwoliła na wykorzystanie struktur wielowymiarowych w grupowaniu konkurencji o podobnym znaczeniu w kontekście wyniku końcowego. Dane wskazują na dominację czynników łączących szybkość i siłę (w okresie po 1985 r.) oraz siłę i szybkość (okres do 1984 r.). W pakiecie konkurencji, w których dominują obydwie zdolności kondycyjne, są przede wszystkim biegi krótkie (100 m, 400 m, 110 m ppł.), skok w dal, a także rzuty (głównie pchnięcie kulą i rzut dyskiem).
- Teoretyczne szacowanie rozwoju wyników cząstkowych, na podstawie sztucznych sieci neuronowych, pozwala na określenie przyrostów punktowych w składowych konkurencjach w odniesieniu do wieku, etapu kariery i aktualnego poziomu sportowego. Sieć RBF wskazuje na dynamiczny rozwój takich konkurencji, jak: skok o tyczce, skok w dal, bieg na 110 m przez płotki oraz rzut dyskiem (pierwszy etap rozwoju), a także na wyraźny, równomierny rozwój w siódmym roku kariery sportowej i regres (poza rzutami) w końcowym etapie mistrzostwa sportowego.
- Analiza przebiegu mistrzostwa sportowego, rozłożonego na cztery etapy szkolenia, pozwala ocenić prawidłowość rozwoju wyników i predykcje wyniku w odniesieniu do konkretnych grup wieloboistów. Zależności korelacyjne, a także wyniki analiz wielowymiarowych pozwalają na organizację treningów łączących jednostki treningowe i poszczególne cykle szkoleniowe.

SUMMARY

THE IMPACT OF INDIVIDUAL SPORTS EVENTS ON THE FINAL DECATHLON RESULT AT DIFFERENT STAGES OF A SPORTS CAREER

The decathlon is probably one of the most difficult and demanding athletic events. It has been held since the end of 1911. The complexity of this form of multi-discipline contest caused by the number and diversity of its component events, the difficult and time-consuming training process and the multitude of factors affecting the final result, made it often the subject of scientific research.

The main objective of the study was to analyze the career progression of the best decathletes in Poland and worldwide, leading to the investigation of the impact of individual component events on the final decathlon result at four stages of career development and within three periods of the history of men's multi-discipline events (1985–2015, 1968–1984, 1960–1967).

The collected research material including data on the 1533 best starts in every year of the selected athletes' careers contained information on the final result and partial results achieved in individual decathlon events. The collected data were assigned to three research protocols (taking into account the age, subsequent years of starts and the years before and after achieving the personal best) and four stages of athlete's development (junior, adolescent, sports championship and the period of results decrease).

To characterize the changes taking place in the course of athletes' careers, among others basic measures and statistical tests (ANOVA), segmental recurrence model and time series analysis (single-base and chain indices) were used. In addition, the analysis of Pearson's linear correlation was used to determine the impact of individual component events on the final result and examine the relationships between the components.

In this study, advanced mathematical models for predicting theoretical development of Polish and foreign athletes' careers (artificial neural networks – RBF) and examining the complexity and internal structure of the decathlon (principal components analysis – PCA) were also used.

The analysis of the career development of leading Polish and world's athletes carried out in this study made it possible to determine the optimal age of sports championship, to show which groups of athletes or stages of sports development significantly differentiate the levels of final and partial results achieved. Moreover, numerous and statistically significant

relationships between the ten component events that also affect the final result and definition of factors determining the internal decathlon structure associated with the results achieved were observed. Furthermore, the application of RBF networks enabled the modeling and estimation of the theoretical development of decathlon careers.

The conducted analyzes and the results obtained made it possible to formulate the following conclusions:

- The duration of sport career of athletes competing today (period 1985–2015) is prolonged, and the optimal age of decathletes, at which they achieve record results (both in the group of the world's and Poland's best decathletes) is 27 years. Leading athletes competing today need about 10 years to achieve the best results.
- The segmental regression model depicted the continuous and dynamic progress of the results achieved in the initial and subsequent years of the career, which lasts until the athlete achieves results at the highest level. After this period, there is a continuous decrease in the level of average final results.
- In the group of the world's best athletes, the results obtained in partial events significantly differentiate the subsequent stages of sports development. Taking into account the individual events, stage II is characterized by the best results in the 1500 m run, stage III features the dominance of the most speed and strength-speed events, and at stage IV, the best shot put and pole vault (technical skills) results are achieved.
- The impact of component events on the final decathlon result changes throughout the whole period of "sports ontogeny". Currently (1985–2015), the most important are results in speed events (100 m, long jump, 400 m, 110 m hurdles), as well as in shot put and pole vault.
- The relationships between individual events have a motor basis. The relationships between speed events (100 m – long jump – 400 m – 110 m hurdles) are important, and their strength increases in subsequent periods of research (from 1968 to 2015). The weakest relationships with other events were observed in difficult technical events (high jump and pole vault) and in the 1500 m run.
- The analysis of the principal components allowed for the use of multi-dimensional structures in the grouping of events having similar importance in the context of the final result. The data indicate the dominance of factors combining speed and strength (in the period after 1985) and strength and speed (period up to 1984). The package of events in

which fitness abilities dominate, includes mainly short runs (100 m, 400 m, 110 m hurdles), long jump, as well as throws (mainly shot put and discus throw).

- Theoretical estimation of the development of partial results based on artificial neural networks makes it possible to determine the point increases in the component events in relation to age, stage of the sports career and the current sport performance level. The RBF network suggests a dynamic development of such events as pole vault, long jump, 110 m hurdles and discus throw (first stage of development), a clear, even development in the 7th year of a sports career and regress (apart from throws) at the final stage of sports championship.
- The analysis of sports championship development divided into four training stages makes it possible to assess the correctness of the results development and result predictions in relation to specific groups of the decathlonists. The correlation relationships as well as the results of multidimensional analyzes allow for organization of trainings combining training units and individual training cycles.