

**AKADEMIA WYCHOWANIA FIZYCZNEGO**

**im. J. Kukuczki w Katowicach**

**Wydział Wychowania Fizycznego**

**Rozprawa na stopień doktora**

**ANALIZA PARAMETRÓW KINEMATYCZNYCH KOŃCZYN GÓRNYCH  
W ĆWICZENIACH SPECJALNYCH I W BIEGU PRZEZ PŁOTKI**

**Katarzyna Hyjek- Młynarczyk**

Promotor:

**prof. dr hab. Janusz Iskra**

Katowice 2021

*Pragnę złożyć serdeczne podziękowania Promotorowi prof. dr hab. Januszowi Iskra,  
za życzliwość, poświęcony mi czas oraz cenne wskazówki udzielone  
w trakcie przygotowywania niniejszej pracy.*

*Dysertację pragnę dedykować moim wspaniałym rodzicom za bezgraniczną pomoc,  
wychowanie oraz zaszczepienie zamiłowania do sportu i nauki.*

## Spis treści

|  |    |
|--|----|
| Wykaz skrótów używanych w pracy .....  | 5  |
| WSTĘP .....  | 8  |
| 1. BIEGI PRZEZ PŁOTKI.....   | 9  |
| 1.1. Rozwój biegów przez płotki\ .....   | 9  |
| 1.2. Charakterystyka motoryczna biegów przez płotki.....   | 11 |
| 2. TECHNIKA RUCHU W BIEGACH PRZEZ PŁOTKI .....   | 15 |
| 2.1. Analiza techniki ruchu .....  | 15 |
| 2.2. Analiza biomechaniczna w ocenie techniki biegu przez płotki - przegląd piśmiennictwa .....                              | 18 |
| 3. RUCH KOŃCZYN GÓRNYCH W CZASIE POKONANIA PŁOTKA .....  | 23 |
| 3.1. Technika pokonania płotka z uwzględnieniem kończyn górnych- przegląd piśmiennictwa. ....                                | 23 |
| 3.2. Technika pokonania płotka na przykładzie zdjęć, kinogramów i analiz filmowych biegu przez płotki.....                   | 30 |
| 3.3. Ruchy kończyn górnych w aspekcie szkolenia sportowego.....  | 31 |
| 3.4. Uporządkowanie pojęcia „kończyn górnych" w biegach przez płotki. ....   | 32 |
| 4. Cel pracy i pytania badawcze.....   | 37 |
| 5. Materiał i metody .....   | 38 |
| 5.1. Materiał badawczy .....   | 38 |
| 5.2. Metody i narzędzia.....   | 39 |
| 5.3. Metody statystyczne .....   | 47 |
| 6. Wyniki.....   | 48 |
| 6.1. Ruchy kończyn górnych w czasie pokonania płotka w grupach o różnym poziomie zaawansowania - analiza fotograficzna. .... | 48 |
| 6.2. Parametry kinematyczne kończyn górnych podczas pokonania płotka w czasie ćwiczeń specjalnych- marsz przez płotki.....   | 52 |
| 6.3. Zmienne przestrzenne kończyn górnych podczas pokonania płotka w aspekcie czterech wariantów biegu przez płotki. ....    | 57 |

|  |     |
|--|-----|
| 7. Dyskusja .....  | 81  |
| 7.1. Jakościowa ocena techniki ruchu kończyn górnych w czasie pokonania płotka w grupach o różnym poziomie zaawansowania. .... | 81  |
| 7.2. Analiza prędkości liniowych podczas ćwiczeń specjalistycznych- marsz przez płotki. ....                                   | 85  |
| 7.3. Parametry przestrzenne kończyn górnych podczas pokonania płotka w aspekcie czterech wariantów biegu przez płotki. ....    | 87  |
| 8. Podsumowanie i wartości aplikacyjne .....   | 93  |
| 9. Wnioski .....   | 95  |
| Piśmiennictwo .....  | 96  |
| ANEKS .....  | 104 |
| Spis rycin .....   | 124 |
| Spis tabel .....   | 126 |
| Streszczenie .....   | 128 |
| Summary .....  | 131 |

## Wykaz skrótów używanych w pracy

### 1. Ogólne

- ppł – bieg przez płotki (100m przez płotki, 60m przez płotki)  
m – bieg na dystansie metrycznym (jw.)  
y – bieg na dystansie jardowym (110 y przez płotki, 400 y przez płotki)  
IO – igrzyska olimpijskie  
MP – mistrzostwa Polski  
ME – mistrzostwa Europy  
MŚ – mistrzostwa świata  
IAAF – (ang. *International Amateur Athletic Federation*)- Międzynarodowa Federacja Lekkiej Atletyki  
PZLA – Polski Związek Lekkiej Atletyki  
PWSZ – Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa  
I – pierwsza klasa sportowa  
M – klasa sportowa mistrzowska  
MM – klasa sportowa mistrzowska międzynarodowa  
EMG – (ang. *electromyography*) elektromiografia  
CM – (ang. *centre of mass*) środek masy  
DoF – (ang. *degrees of freedom*) - liczba stopni swobody  
Z – kończyna górna zakroczna  
A – kończyna górna atakująca

### 2. Momenty pokonania płotka

| Badanie                     |                                 |  |                               |
|-----------------------------|---------------------------------|--|-------------------------------|
| Bieg przez płotki na wirażu |                                 | Bieg na dystansie 60 m ppł oraz „marsz” przez płotki i |                               |
| M1                          | Moment przygotowania do odbicia | M1   | ---                           |
| M2                          | Moment odbicia                  | M2   | Moment odbicia                |
| M3                          | Moment pozycji „nad płotkiem”   | M3   | Moment pozycji „nad płotkiem” |
| M4                          | Moment lądowania                | M4   | Moment lądowania              |
| M5                          | Moment przygotowania do biegu   | M5   | ---                           |

### 3. Charakterystyka próby - bieg przez płotki

| Wariant biegu | Biegi przez płotki | Kończyna dolna atakująca płotek | Charakterystyka próby  |
|---------------|--------------------|---------------------------------|--|
| Wariant I     | B1 / B2            | Lewa                            | Bieg przez płotki w pełni zdolności do podjęcia wysiłku/ Bieg po przerwie 1 minuta |
| Wariant II    | B3 / B4            | Prawa                           | Bieg przez płotki w pełni zdolności do podjęcia wysiłku/ Bieg po przerwie 1 minuta |
| Wariant III   | B1 / B3            | Lewa/Prawa                      | Biegi przez płotki w pełni zdolności do podjęcia wysiłku                           |
| Wariant IV    | B2 / B4            | Lewa/Prawa                      | Biegi przez płotki po przerwie 1 minuta  |

Legenda: Pokonanie płotka lewą kończyną dolną: B1- Bieg nr 1, B2- Bieg nr 2.

Pokonanie płotka prawą kończyną dolną: B3- Bieg nr 3, B4- Bieg nr 4

### 4. Wykaz parametrów biomechanicznych (zmiennych) wykorzystanych w pracy.

| Lp. | Skrót                                     | Opis  |
|-----|---|---|
| 1.  | wys. środka ciężkości [mm]                | Wysokość środka ciężkości   |
| 2.  | wys. środka ciężkości – płotek [mm]       | Wysokość środka ciężkości „nad płotkiem”                                  |
| 3.  | odl. środka ciężkości – płotek [mm]       | Odległość środka ciężkości ciała do płotka                                |
| 4.  | kąt pochylenia tułowia [°]                | Kąt pochylenia tułowia względem podłoża                                   |
| 5.  | odl. środka ciężkości - ramię z [mm]      | Odległość środka ciężkości do początku ramienia kończyny zakroczonej      |
| 6.  | odl. środka ciężkości - przedramię z [mm] | Odległość środka ciężkości do początku przedramienia kończyny zakroczonej |
| 7.  | odl.: środka ciężkości - dłoń z [mm]      | Odległość środka ciężkości do początku dłoni kończyny zakroczonej         |
| 8.  | odl. środka ciężkości - ramię A [mm]      | Odległość środka ciężkości do początku ramienia kończyny atakującej       |
| 9.  | odl. środka ciężkości - przedramię A [mm] | Odległość środka ciężkości do początku przedramienia kończyny atakującej  |
| 10. | odl. środka ciężkości - dłoń A [mm]       | Odległość środka ciężkości do początku dłoni kończyny atakującej          |
| 11. | rot. x - ramię Z [°]                      | Rotacja ramienia kończyny zakroczonej względem osi x                      |
| 12. | rot. y - ramię Z [°]                      | Rotacja ramienia kończyny zakroczonej względem osi y                      |

|     |                               |   |
|-----|-------------------------------|---|
| 13. | rot. $z$ - ramię $Z$ [°]      | Rotacja ramienia kończyny zakroczonej względem osi $z$      |
| 14. | rot. $z$ - przedramię $Z$ [°] | Rotacja przedramienia kończyny zakroczonej względem osi $z$ |
| 15. | rot. $x$ - ramię $A$ [°]      | Rotacja ramienia kończyny atakującej względem osi $x$       |
| 16. | rot. $y$ - ramię $A$ [°]      | Rotacja ramienia kończyny atakującej względem osi $y$       |
| 17. | rot. $z$ - ramię $A$ [°]      | Rotacja ramienia kończyny atakującej względem osi $z$       |
| 18. | rot. $z$ - przedramię $A$ [°] | Rotacja przedramienia kończyny atakującej względem osi $z$  |

## WSTĘP

Istniejąca we współczesnym świecie idea rywalizacji między ludźmi ma swoje odzwierciedlenie we współzawodnictwie sportowym. Sport wyczynowy jest wypadkową wieloaspektowych potrzeb ruchowych człowieka, które odzwierciedlają się aktywnością fizyczną we wszystkich możliwych obszarach motoryki człowieka (Mehlich 2004). Dążenie do granicy ludzkich możliwości narzuciło potrzebę wysokiej specjalizacji ruchowej w każdej dyscyplinie i konkurencji sportowej.

Biegi przez płotki należą do jednych z najtrudniejszych konkurencji lekkoatletycznych. Osiągnięcie w nich wysokiego poziomu sportowego wymaga zarówno wysokiego poziomu przygotowania kondycyjnego, jak również opanowania koordynacyjnie trudnej techniki pokonywania płotków. Złożoność tej konkurencji powoduje, iż analiza biegów sprinterskich przez płotki dotyczy wielu aspektów kondycyjnych, koordynacyjnych, psychicznych in. (Iskra 2012b).

Wysoki poziom rozwoju techniki sportowej w biegu przez płotki stanowi kluczowy element poprawy wyniku oraz jest istotnym czynnikiem kontroli procesu treningowego. Bardzo często technika kojarzona jest wyłącznie z samą strukturą wykonywania ruchów. Według T. Bober ujmowana jest jako „zewnątrzny przejaw działań zawodnika, zapewniający wykorzystanie potencjału i cech fizycznych do poziomu pożądanego w zadaniu ruchowym...”. Oznacza to, że technika wykonania zadania ruchowego uwarunkowana jest również odpowiednim do tego przygotowaniem fizycznym (Bober 2000).

Analizy techniki ruchu dokonują nie tylko analitycy z obszaru biomechaniki ale również nauczyciele wychowania fizycznego, trenerzy i zawodnicy. Trenerzy łączą zasady biomechaniki ze swoim doświadczeniem oraz innymi subdyscyplinami kinezyjologii (Knudson i Morrison, 2002). Używają słów (wskazówek) lub zwrotów, aby komunikować się z zawodnikami. Wszystko po to, aby pozwolić ćwiczącemu optymalnie wykorzystać jego strukturalne i funkcjonalne możliwości, celem uzyskania najlepszego wyniku ruchowego.

Sukces sportowy w biegu przez płotki można odnieść tylko wtedy, gdy na solidnej podstawie predyspozycji somatycznych oraz talentu motorycznego (szybkość i koordynacja ruchowa) kształtuje się optymalny dla danego zawodnika sposób (technikę) pokonania płotków (Iskra 1995). Ze względu na małe zainteresowanie strukturą ruchu kończyn górnych podczas pokonania płotka obrano za punkt wyjścia przeprowadzenie jakościowej i ilościowej analizy techniki.



## 1. BIEGI PRZEZ PŁOTKI

### 1.1. Rozwój biegów przez płotki

Lekka atletyka nie bez powodu nosi miano „Królowej Sportu”. Jest jedną z najbardziej elitarnych dyscyplin sportu, uprawianą we wszystkich krajach świata. Na igrzyskach olimpijskich w tej dyscyplinie zostaje rozegranych najwięcej (47) konkurencji, w tym 4 biegi sprinterskie przez płotki. Należą do nich biegi przez:

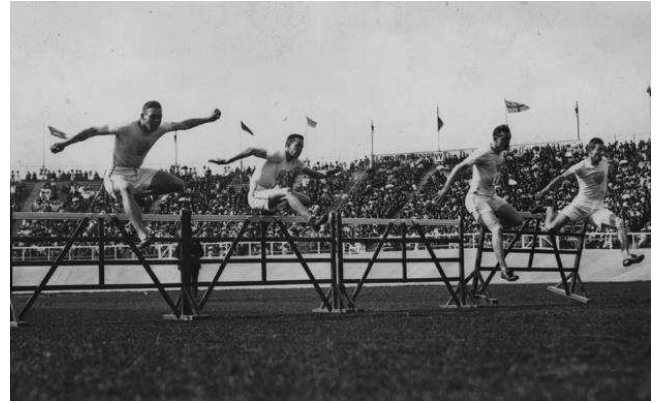
- wysokie płotki („*high hurdles*”) - 100 metrów przez płotki dla kobiet i 110 metrów przez płotki dla mężczyzn
- niskie płotki („*intermediate hurdles*”) - biegi na dystansie 400 metrów przez płotki kobiet i mężczyzn.

Istotą wszystkich wyżej wymienionych biegów przez płotki, polega na pokonaniu 10 przeszkód (płotków), których wysokość oraz odległość, zależy od płci oraz dystansu.

Tradycyjne biegi przez płotki, w przeciwieństwie do wielu innych konkurencji lekkoatletycznych, nie wywodzą się ze starożytności. Forma współzawodnictwa tej młodej konkurencji pochodzi od angielskich pasterzy, którzy rywalizowali ze sobą biegnąc przez płoty odgradzające pastwiska (Iskra 2005). To właśnie Anglia ok. 1830 r. stanowiła jej kolebkę, w której przez wiele lat płotki funkcjonowały (wraz ze skokami i rzutami), jako tzw. „*field events*”, w przeciwieństwie do wszystkich innych biegów, zaliczanych do grupy „*track events*”.

Według Lipońskiego (2001) „biegi przez płotki wywodzą się ze skróconych i przystosowanych do wymogów widowiska stadionowego crossów terenowych z przeszkodami”. Podobnie interpretuje bieg przez płotki Quercetani (2009), twierdząc, że geneza biegów przez płotki sięga terenowych form ekonomicznego pokonywania przeszkód. Przegląd literatury sprowadza najwcześniejsze zawody do biegu przez płotki w naturalnym terenie przyszkolnym, wykorzystując „płotki” na trwałe wbite w ziemię lub do ciężkich przeszkód terenowych, wykopanych na trawiastych trasach przełajowych (Iskra 2005).

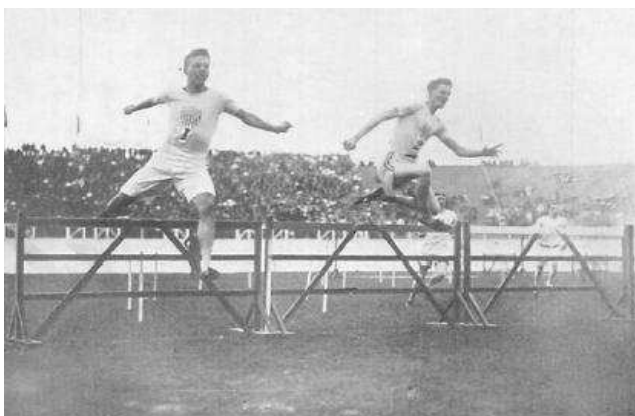
Pierwsze zawody tej młodej konkurencji odbyły się w drugiej połowie lat 30. XIX wieku w *public school* w Eton obok Londynu. Zawody miały charakter międzyklasowy i były rozgrywane na dystansie 100 jardów. W 1864 r. dystans uległ wydłużeniu do 120 jardów (109,72 m) z dziesięcioma przeszkodami wysokimi na trzy stopy. Następnie Francuzi w 1888r. dodali do dystansu 28 cm, by zaokrąglić dystans do 110 m (<http://olimpiady.republika.pl>, [www.lekkoatletyka.hm.pl](http://www.lekkoatletyka.hm.pl)) w taki sposób konkurencja ta była rozgrywana na Igrzyskach Olimpijskich w Atenach w 1896 r. (rycina 1).



Rycina 1. Od lewej: Forrest Smithson w biegu na 120 y przez płotki w 1907r. oraz finał biegu 110 m ppł podczas IO w Londynie 1908 r. (źródło: <https://beaverrelics.wordpress.com/2014/07/03/forrest-smithson-osus-first-olympic-medalist-in-1908/>)

Warto też wspomnieć o pośrednim dystansie – 220 y przez płotki, który został rozegrany po raz pierwszy w 1864 r. w Liverpool. Bieg ten mimo wszystko był dodatkiem do rywalizacji na 100/110 m przez płotki i 400 m przez płotki, a obecnie traktowany jest, jako płotkarski relikwiarz (Iskra 2005).

Odmienna sytuacja dotyczy dystansu 400 m przez płotki (440 y przez płotki), którego dotychczasowa klasyfikacja w publikacjach naukowych jest niejednoznaczna. Korbel (2005) w swoim rozdziale „Biegi płotkarskie dla mężczyzn i kobiet na 400 m” pisze, że pierwsze informacje o tej dyscyplinie pochodzą z Ameryki i Anglii, dwóch kolebek nowoczesnej lekkoatletyki. Quercetani (2009), sugeruje brytyjskie pochodzenie tej konkurencji, dokumentując zawody przeprowadzone w Oxfordzie w 1860 r. Zawodnicy mieli wtedy do pokonania dystans 440 jardów z dwunastoma ciężkimi drewnianymi barierami wysokimi na 1,067 m, umocowanymi w ziemi. W 1900 r. dystans został zmodernizowany do 400 m z dziesięcioma płotkami o wysokości 91,44 cm, których rozstaw 35 m obowiązuje dotychczas (rycina 2).



Rycina 2. Chares Bacon i Harry Hillman – finał biegu 400 m ppł podczas IO w Londynie 1908 r. (źródło: [https://en.wikipedia.org/wiki/Athletics\\_at\\_the\\_1908\\_Summer\\_Olympics\\_%E2%80%93\\_Men%27s\\_400\\_metres\\_hurdles](https://en.wikipedia.org/wiki/Athletics_at_the_1908_Summer_Olympics_%E2%80%93_Men%27s_400_metres_hurdles)).

Wobec tego wydaje się właściwym przyjęcie początków dystansu 400 m przez płotki jako konkurencji włączonych do programu olimpijskiego od 1900 r., z wyjątkiem V Igrzysk Olimpijskich w Sztokholmie w 1912 r. (Korbel 2005).

Początkowo na dystansach płotkarskich dominowali mężczyźni. Dopiero rok 1926 stanowił przełom dla kobiecych płotków. Odnotowano wtedy pierwszy bieg kobiet na 80 m przez płotki (z wysokością płotka 76 cm) oraz ujednolicono przepisy biegów płotkarskich. Dystans ten zadebiutował na Igrzyskach Olimpijskich w 1932 r. i obowiązuje obecnie tylko w kategorii młodziczek (13-14 lat). W 1969 r. dystans wydłużono do 100 m, z wysokością płotków 84 cm i w takiej formie niezmiennie funkcjonuje po dzień dzisiejszy. Rywalizację na dłuższych dystansach płotkarskich kobiety zaczęły w 1960 r. od biegu na 200 m przez płotki. Następnie w 1972 r. władze IAAF dokonały oficjalnego wprowadzenia biegu 400 m przez płotki z 10 płotkami o wysokości 76 cm do programu najważniejszych imprez lekkoatletycznych.

## **1.2. Charakterystyka motoryczna biegów przez płotki**

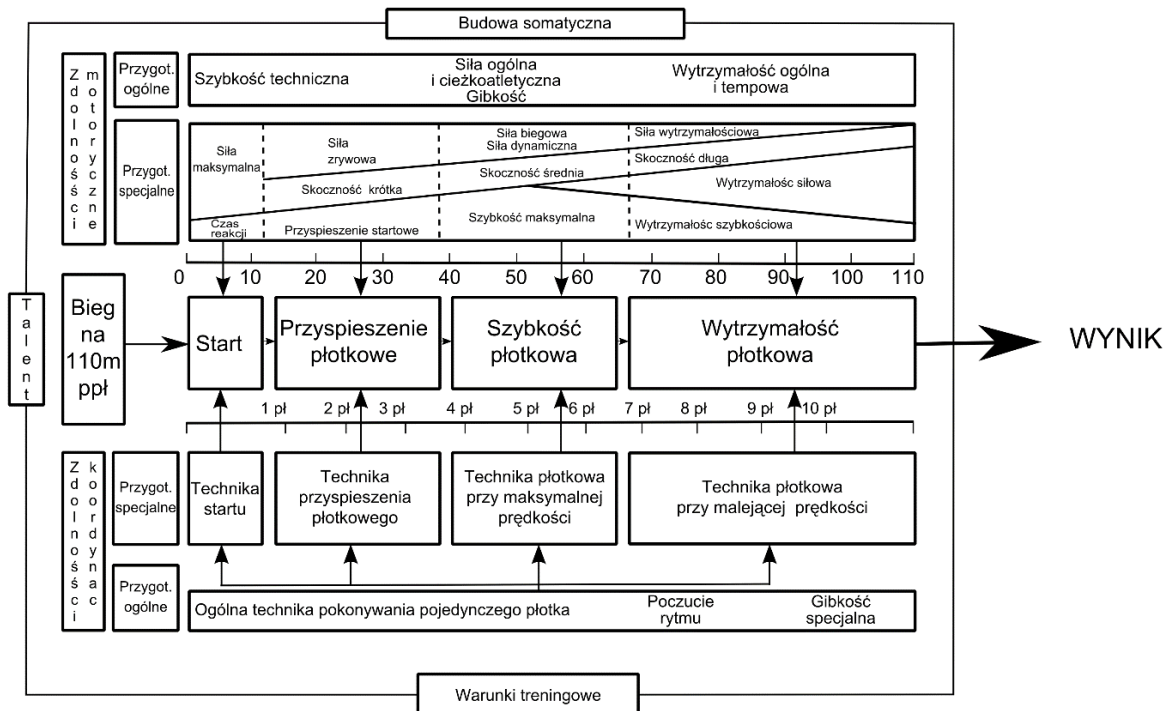
Wyróżnione, jako „konkurencje szybkościowe”, skupiają swoją uwagę nie tylko na komponentach siłowo-szybkościowych, ale równocześnie uwzględniają aspekt techniczno-koordynacyjny. Płotki wkomponowane do klasycznych biegów sprinterskich stawiają przed zawodnikami nowe wymogi przygotowania do tej konkurencji. Specyfika biegów płotkarskich nakłania zawodnika do odmiennego przygotowania motorycznego, ponieważ do klasycznego treningu kondycyjnego należy dodać przygotowanie pozwalające kształtować technikę pokonania płotka oraz poruszania się między płotkami.

Elementem identyfikującym poziom przygotowania technicznego do konkurencji płotkarskich są zdolności koordynacyjne. W zakresie tych zdolności ważną rolę w kształtowaniu techniki pokonywania płotka i biegu między płotkami pełnią zdolności rytmizacji, różnicowania kinestetycznego, a także orientacji przestrzennej i innych (Iskra 2001). Właśnie te zdolności, a w szczególności poczucie rytmu w powiązaniu z gibkością i prawidłową techniką pokonywania płotka stwarza podstawy do prawidłowej realizacji szkolenia płotkarskiego. Analiza struktury czasowej biegu przez płotki wyłania kilka fragmentów uwarunkowanych poziomem przygotowania motorycznego i technicznego.

Bez względu na etap szkolenia sportowego w biegach płotkarskich, można wyodrębnić 4 następujące fragmenty biegu (Gasilewski 2009):

1. Start – od moment sygnału rozpoczynającego bieg do wykonania 3-4 pierwszych kroków. Skuteczność tej fazy biegu uzależniona jest od poziomu siły maksymalnej, techniki startu niskiego i czasu reakcji.
2. Przyspieszenie płotkowe – odcinek od 3-4 płotka, na którym prędkość biegu widocznie wzrasta. Efektywność zależy od poziomu tzw. „siły eksplozywnej”, skoczności, czasu przyspieszenia startowego na odcinku do pierwszego płotka oraz techniki płotkarskiej (sposobu pokonania płotka) w czasie wzrostu prędkości na tym odcinku.
3. Szybkość płotkowa – faza biegu pomiędzy 4-7 płotkiem, w której zawodnicy uzyskują największe prędkości. W tym fragmencie biegu kluczowa jest klasyczna szybkość oraz poziom siły o charakterze eksplozywnym. Według opinii wielu specjalistów na czas tego odcinka wpływa poziom techniki biegu przez płotki.
4. Wytrzymałość płotkowa – końcowy fragment biegu związany z utrzymaniem tzw. „rytmu płotkarskiego” oraz wytrzymałości szybkościowo- siłowej przy jednoczesnym wzroście zmęczenia.

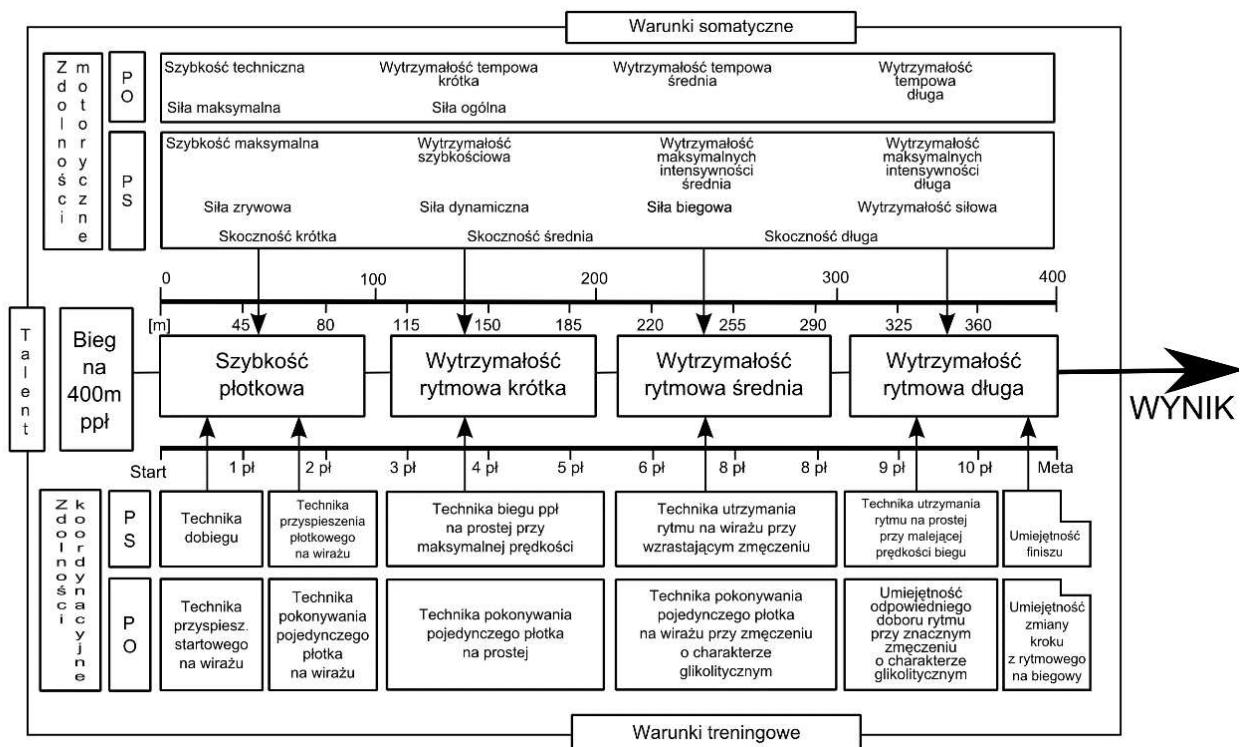
Rycina 3 i 4 przedstawia całość struktury omawianej konkurencji ujętej wg Iskra (1995 i 1999). W schemacie tym odnaleźć można wyżej wymienione fragmenty biegu płotkarskiego z uwzględnieniem zdolności koordynacyjnych i motorycznych.



Rycina 3. Schemat biegu na 100/ 110 m przez płotki (wg Iskra 1995).

Obok aspektu motorycznego i technicznego na rezultat w biegu przez płotki wpływają także inne elementy: budowa somatyczna, warunki treningowe oraz wysoki poziom wiedzy technicznej (Salo 2006). Można domniemać, iż osiągnięcie wysokiego poziomu sportowego (model mistrza) uwarunkowane jest umiejętnościami łączenia wszystkich komponentów treningu płotkarskiego. W zależności od predyspozycji osobniczych zawodnika, niektóre komponenty mogą uzyskiwać wartości wyższe niwelując braki pozostałych elementów (Winckler 2000).

Złożoność konkurencji, jaką jest bieg przez płotki wymaga uwzględnienia w przygotowaniu płotkarza siły o charakterze eksplozywnym. Ma ona związek ze zwiększeniem możliwości szybkościowych, jak również przyczynia się do zachowania właściwej techniki pokonywania przeszkód. Dystans wymaga, bowiem 10-krotnego skoku na odległość około 3,5- 4 m (pokonanie płotka), po którym powinno nastąpić szybkie i płynne przejście w bieg. Biorąc pod uwagę fakt, iż rozstaw płotków oraz wysokości są ściśle określone, to zachowanie ruchowe (czynność biegacza) przebiega w sposób cykliczny. Utrzymanie poszczególnych parametrów (np. prędkość pomiędzy płotkami) na jednakowym poziomie wiąże się z powtarzalnością zachowania osobniczego, czyli zachowaniem rytmicznym (Mehlich 2004). Przyjęcie odpowiedniego „rytmu” biegu (biorąc pod uwagę czynniki związane z pokonaniem dystansu) ma decydujące znaczenie o powodzeniu i rezultacie końcowym. Bieg na 400 m przez płotki jest konkurencją o znacznie większej ilości elementów tworzących jej strukturę (rycina 4).



Rycina 4. Struktura biegu na 400 m przez płotki (Iskra 1999).

Tak ujęta charakterystyka biegów płotkarskich dowodzi, że biegi przez płotki to niezwykle specyficzna i niepowtarzalna konkurencja, w której o wynikach decydują 4 czynniki (szybkość, wytrzymałość, siła i technika). Dlatego właściwa technika biegu przez płotki to skomplikowana kombinacja różnych form biegu i skoku (Bollschweiler 2007).

Technika pokonania pojedynczego płotka zmienia się w trakcie biegu wraz z kolejno następującymi po sobie płotkami. Najistotniejsze jest dostosowanie techniki biegu, aby pokonanie wszystkich przeszkód (10 płotków) odbywało się w sposób płynny i jak najszybszy. Podobny pogląd przedstawiają w swoich pracach Balsalobre- Fernández (2013) oraz Iskra i Čoh (2011), piszą, aby osiągnąć optymalny poziom wydajności, sportowiec musi mieć dobrze rozwiniętą koordynację, a także technikę pokonywania płotków w określonym rytmie.



## 2. TECHNIKA RUCHU W BIEGACH PRZEZ PŁOTKI

### 2.1. Analiza techniki ruchu

Pojęcie „technika ruchu” jest powszechnie znane, ale rzadko definiowane (jego definicja bywa kontrowersyjna). Zarówno w nauczaniu, procesie szkolenia sportowego jak również w dziedzinie biomechaniki sportu. W odniesieniu do sportu termin ten obejmuje: „określoną sekwencję ruchów lub jej fragment w sytuacjach sportowych, będący jednocześnie rozwiązaniem zadania ruchowego” (Lees 2002) lub “wzór i kolejność ruchów” (Carr, 1997). Bardziej kompleksowo określił T. Bober ujmując technikę sportową jako „aktywność ruchową przebiegającą w uporządkowanej kolejności i podporządkowanych biomechanicznym zasadom, które służą do wykorzystania potencjału strukturalnego i funkcjonalnego człowieka, w celu maksymalnego rezultatu sportowego” (Król, 2016). Tak więc, definicje te sugerują, że technika ruchu opisuje względne położenie i orientację segmentów ciała, które ulegają zmianie podczas wykonywania zadania sportowego, aby w jego efekcie było ono skuteczne.

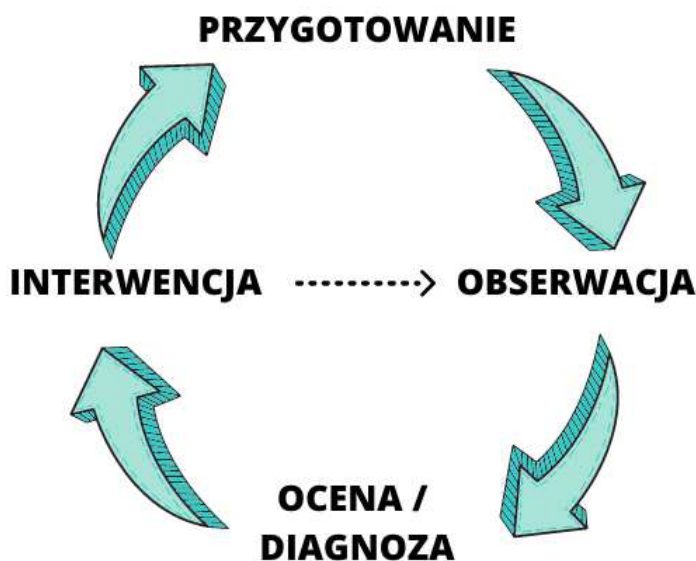
Należy zwrócić uwagę, że powyższe definicje nie określają kryteriów oceny techniki. W powszechnej koncepcji techniki ruchu przyjmuje się, że jeśli zadanie ruchowe jest wykonane przy użyciu „dobrej” techniki, a nie „złej”, to wydajność (efektywność) wykonania będzie dużo większa. Autorzy Hay i Reid (1982), Lees (2002) oraz Bartlett (2009) ostrzegają przed wykorzystywaniem wydajności jako wskaźnika dobrej techniki, ponieważ czynniki inne niż technika mogą mieć na nią bezpośredni wpływ. Wobec tego należy przyjąć, iż lepsza wydajność nie oznacza lepszej techniki, chociaż ogólnie lepsza technika prowadzi do poprawy wydajności danej czynności ruchowej. Podobnie uważa Hochmuth (1984) ostrzega, że „technika” jest tylko jednym z wielu czynników, które mogą wpłynąć na sukces wykonania czynności ruchowej; inne obejmują cechy fizjologiczne, antropometryczne i nerwowo-mięśniowe. Zdaniem Knudson i Morrison (2002), „analiza, która opiera zmiany w technice wyłącznie na zasadach biomechaniki (nauki o technice), nie jest idealna, ponieważ pomija istotne informacje, które inne dyscypliny wnoszą do tych ocen”. Stanowi to ważne ograniczenie analizy techniki, które niejednokrotnie może być pomijane przez współczesnych autorów.

Przegląd literatury naukowej przedstawia różnorodność pojęć związanych z „analizą techniki ruchu”. W piśmiennictwie spotykane są określenia, takie jak; „analiza techniki” (Elliott, 1999), „analiza biomechaniczna ruchów” (Adrian i Cooper, 1995), „badanie technik sportowych” (Bober 2000), „analiza technik sportowych” (Hay, 1993), „analiza umiejętności sportowych” (Carr, 1997) lub „biomechaniczna analiza techniki” (Bartlett, 1999). Mimo, iż terminy różnią się między sobą, ogólny cel metod opisanych przez tych autorów jest w istocie taki sam. Zdaniem Leesa (2002), charakter analizy techniki ruchu oraz jej zakres jest słabo zdefiniowany. Brak

wskazówek ze strony wybitnych badaczy, dotyczących ram koncepcyjnych analizy techniki, pozostawia sprawę otwartą, a opracowanie i wdrożenie stosownych metody do powszechnej interpretacji.

Analizy techniki ruchu dokonują na co dzień nauczyciele wychowania fizycznego oraz trenerzy, a zasady i wiedza biomechaniczna dostarcza im krytycznego uzasadnienia dla oceny techniki i identyfikacji ćwiczeń oraz aktywności fizycznej. Dawniej trenerzy nie mieli do dyspozycji odpowiednich narzędzi obserwacyjnych i analitycznych, dlatego też bazowano na subiektywnej obserwacji struktury ruchu. W ten sposób opracowano *analizę jakościową*, mającą jednocześnie szerokie grono odbiorców.

Analiza jakościowa charakteryzuje się systematyczną obserwacją i introspekcyjną oceną jakości ruchu człowieka, prowadzoną w celu zapewnienia odpowiedniej interwencji dla poprawy efektywności czynności ruchowej (Knudson i Morrison, 2002). Rycina 5 przedstawia czterozadaniowy model analizy jakościowej, który wyróżnia cztery zadania integrujące wszystkie subdyscypliny biomechaniki: przygotowanie, obserwację, ocenę i diagnozę oraz interwencję.



Rycina 5. Czterozadaniowy model analizy jakościowej (Knudson i Morrison, 2002).

W pierwszym zadaniu przygotowania analizy jakościowej profesjonalista (obserwator) gromadzi potrzebne informacje z obszaru biomechaniki, uwzględnia kluczowe cechy czynności ruchowej oraz potencjalne błędy wykonawcy. Następnie wybiera strategię obserwacji, mającą na celu zebranie odpowiednich informacji sensorycznych o wykonywanym ruchu, jak również zdolnościach motorycznych badanej osoby lub grupy. Trzecim zadaniem jest ocena i diagnoza,



podczas której obserwator najpierw rozpoznaje mocne i słabe strony efektywności wykonywanego zadania oraz w celu diagnozy określa priorytety potencjalnych sposobów poprawy wykonania ruchu. Ostatnim zadaniem jest interwencja, definiowana jako podawanie informacji zwrotnych i korekt w celu poprawy wydajności wykonywanego zadania (Knudson, 2007b). Dobra analiza jakościowa ruchu ma charakter interdyscyplinarny i wymaga integracji informacji z wielu subdyscyplin kinezylogii. Dzięki ewaluacja metod analizy naukowej możliwe było przedstawienie umiejętności ruchowych w postaci danych liczbowych. Mierzenie aspektów efektywności ruchu związanych z techniką, odbywało się często przy użyciu zmiennych kinematycznych i czasowych. To podejście stało się znane jako **analiza ilościowa**. Analiza ilościowa stanowi odmienne wyzwanie dla naukowców i praktyków treningu sportowego. Ponieważ metody analityczne sprowadzają się do pomiaru drobnych szczegółów, które następnie należy poddać analizie w sposób odzwierciedlający podstawowe cechy struktury ruchu. Czasochłonność analizy ilościowej często utrudnia jej zastosowanie w naturalnych warunkach rywalizacji sportowej, w których koncentracja spoczywa na całościowej strukturze ruchu. Należy zaznaczyć, że analiza ilościowa w warunkach klinicznych (np. analiza kinematyczna chodu) przekształciła się w potężne narzędzie wspomagające podejmowanie decyzji klinicznych (Hajduk i wsp., 2016). Mimo to, spektakularnych postępów taki sukces nie jest jeszcze tak zauważalny w technice sportowej. Do ostatniej grupy metod analizy techniki ruchu, zaliczamy techniki modelowania matematycznego i komputerowej symulacji czynności ruchowych. W literaturze noszą miano **analizy predykcyjnej** (Elliotta, 1999). Zastosowanie modeli ma ogromny potencjał. Służą m.in. do tworzenia dynamicznych symulacji ruchu czy zmiany warunków wejściowych i kontrolnych, a ich zastosowanie ma na celu określenie wzorów oraz przewidywania przyszłych zdarzeń lub trendów w przebiegu czynności ruchowej. Niewątpliwą zaletą analizy predykcyjnej jest to, iż oferuje środki do osiągnięcia jednego z najważniejszych celów analizy techniki, czyli zbadania „najbardziej efektywnego sposobu wykonywania ruchu”.

Można określić kilka celów analizy techniki ruchu. Głównym uzasadnieniem łączącym powyższe rodzaje analizy jest poprawa efektywności struktury ruchu. W każdym przypadku działalności sportowej można zastosować więcej niż jedną z wymienionych analiz ruchu. Równocześnie powodzenie jednego sposobu analizy będzie prawdopodobnie zależeć od wcześniejszego zastosowania innej Lessa (2002). Analiza technik ruchu jest główną domeną biomechaników, choć jest również wykorzystywana przez innych analityków. Nauczyciele wychowania fizycznego, jak również trenerzy wykorzystują zasady biomechaniki do analizy techniki, określenia poziomu sprawności motorycznej oraz prewencji urazów (Elliot i Bartlett 2006, Knudson 2007a).

## 2.2. Analiza biomechaniczna w ocenie techniki biegu przez płotki - przegląd piśmiennictwa

Najważniejsze z naukowego punktu widzenia są badania prowadzone w warunkach polowych jako kontrola elementu treningu organizowanego na stadionie. Analiza literatury pokazuje, że w biegach przez płotki brakuje standardowych procedur testowych, a badania koncentrują się wyłącznie na szkoleniach i rozwiązaniach badawczych mających na celu zastąpienie klasycznych form konkurencji dla celów testowych (Iskra, Čoh 2011).

Pierwsze próby analizy oceny techniki biegów płotkarskich dokonano za pomocą pojedynczych zdjęć lub ich serii uwzględniających najlepszych płotkarzy danego okresu. Na tym etapie zestawiano ze sobą wstępną analizę kinematyczną z opinią lekkoatletycznych ekspertów. Pionierem w tej dziedzinie był jeszcze Montague Shearman, który podjął się oceny techniki biegu przez płotki pierwszego w historii meczu lekkoatletycznego (Shearman, 1887). Tak ujmowana analiza pozwalała wychwycić różnice w stylu biegania poszczególnych płotkarzy. Prace naukowe bazujące na tych samych narzędziach badawczych kontynuowali Boyd Comstock, który jako pierwszy opisał technikę najlepszego amerykańskiego płotkarza (Comstock, 1924) oraz Frederick Webster, opisujący styl biegu przez płotki (Webster, 1929).

Na pograniczu XIX i XX wieku analiza techniki biegu przez płotki ewoluowała do bardziej dokładnych i całościowych metod kinematograficznych, które umożliwiały wykonanie tzw. kinogramów przebiegu ruchów. Analizy techniki biegu płotkarskiego za pomocą tej metody dokonali w 1968 roku Tom i Elfriede Nett. W swojej obszernej pracy zamieścili kinogramy odnoszące się do różnych dystansów: 15 w biegu na 110 m przez płotki, 11 na dystansie 400 m przez płotki i na 80 m przez płotki kobiet (Nett T., Nett E. 1969). Użytkowość omawianej metody potwierdzają liczne publikacje, opierające się na kinogramach mistrzów olimpijskich, świata i europy. Analizowali je m.in. w biegu na 110 metrów przez płotki Brejzer i Kajtmazowa (1979), Hommel (1985, 1988), Hommel i Arnold (1993). Na dystansie 100 m przez płotki dokonali tego Hommel i Vernon (1991), a w biegu na 400 m przez płotki Susanka (1993), Brejzer (1986) oraz Hommel (1990). Znane są również prace analizujące technikę biegu przez płotki kilkuletnich dzieci Oberback (1972) oraz Artiuszenko i Blieglicow (1975). Najczęściej stosowanym sposobem analizy ruchu w konkurencjach płotkarskich było przedstawienie wybranych faz biegu lub dłuższych fragmentów kinogramów w wykonaniu najlepszych zawodników; takich jak przykładowo rekordzista świata Renaldo Nehemiah (Brejzer i Kajtmazowa 1979), Roger Kingdom (Hommel i Arnold 1992), czy Colin Jakson (Hommel 1995).

Istotny wkład do oceny techniki i ekonomii ruchu tej konkurencji dostarczają badania kinematyczne, które stanowią najobszerniejszą grupę badań biomechanicznych. Grimshow (1994)

rozpoczynając swój rozbudowany program badań biomechanicznych płotkarzy, wydzielił 3 typy analiz kinematycznych:

- Przekrojowe (ang. „cross sectional”) – dotyczące określonych grup płotkarzy, w których liczba badanych zmniejsza się wraz z poziomem zaawansowania. Sesje badawcze w tej grupie analiz są jednorazowe.
- Ciągłe (ang. „longitudinal”) – obejmujące kilka sesji badawczych. Istotne znaczenie dla wyników badań kinematycznej struktury biegu przez płotki nabiera dobór materiału badawczego (liczba badanych); spowodowany głównie brakiem możliwości skompletowania grupy płotkarzy w kilku kolejnych (czasem corocznych) sesjach badawczych.
- Porównawcze (ang. „comparative”) – wykorzystujące głównie płotkarzy o zróżnicowanym poziomie sportowym; grupy płotkarzy i wieloboistów (McLean 1994, McDonald 2002) oraz porównania płotkarzy do płotkarek (Salo et al. 1997a, 1997b, Salo, Grimshaw 1998).

Prowadzenie badań nad strukturą kinematyczną jest dość trudne i niezbyt popularne (Bollschweiler 2007). Zmiany przepisów biegu przez płotki, związane głównie z wysokością płotków i odległości między nimi umożliwiają szerszą perspektywę badań naukowych. Spośród 4 konkurencji płotkarskich największe zainteresowanie biomechaniczne dotyczy biegu na 100 m i 110 m przez płotki (Li 2000, Salo 2002, Čoh 2003, Park i wsp. 2011, Skowronek i wsp. 2013). Związane jest to głównie ze specyfiką rozgrywania tych konkurencji, gdyż bieg wykonywany jest po prostej, co słusznie wspomaga przeprowadzenie badań. Większe trudności analizy zauważa się w biegu 400 m przez płotki, który rozgrywany jest na wirażach, co z całą pewnością utrudnia filmowanie. Wobec tego, rzadko analizuje się parametry kinematyczne biegu płotkarzy na pełnym dystansie (Kaufmann 1976), częściej bazuje się na fragmentach biegu (Iskra 1998, Iskra, Bacik 1999, Salo 2002). Do najczęściej analizowanych odcinków biegu należą płotki ustawione w środkowej (najszybszej) części dystansu. Warianty analizy 3-go i 4-tego płotka przyjęto w pracach Mero i Luhtanena (1986), Miskosa. (1988), Salo i Grimshawa (1996 i 1998), Iskra i wsp. (prace z lat 1997 – 2001), Salo (2002), (Čoh 2012) i innych. Badania kinematyczne obejmowały również analizę kolejnych płotków, co umożliwiło uchwycenie zmian parametrów biegu przy wzrastającym zmęczeniu o charakterze beztlenowym. Badania tego typu prowadzili Iliew i Primakow (1978), Iwkin i wsp. (1987), Otrubiannikow, Razumowski (1988). Schwirtz i wsp. (1990) zajęli się oceną wpływu zmęczenia na zmiany parametrów dynamicznych kroku płotkowego na dystansie 400 metrów przez płotki mężczyzn.

Próby analizy kinematycznej w biegu przez płotki były podejmowane w publikacjach pracowników naukowych Akademii Wychowania Fizycznego w Katowicach (Iskra i Bacik 1996, 1997b, Król i Bacik 1997, Iskra i wsp. 2000, 2003, Iskra 2008a). Prace tych autorów dotyczą głównie struktury ruchu w biegach przez płotki, zawodników wysoko kwalifikowanych (Iskra i Przednowek 2016, 2017a, Iskra i wsp. 2017b, Krzeszowski i wsp. 2015, 2016). Chow (1993, 1998) W badaniach nad rzetelnością pomiarów kinematycznych w czasie biegów przez płotki uwzględnił długość kroków podczas pokonania płotka oraz ocenił ich prędkości poziome. Ten sam problem badawczy rozpatrywał Salo (2002). Celem jego badań było zbadanie indywidualnych różnic prędkości poziomych środka masy ciała dla dwóch zawodników specjalizujących się w biegu na dystansie na 110 m przez płotki. Podobnie Amara (2017) dokonał analizy porównawczej kroku płotkowego, trajektorii ruchu środka masy ciała „nad płotkiem” oraz siły szczytowej i mocy podczas fazy odbicia i lądowania.

Analiza danych opracowanych w czasie badań kinematycznych obejmuje zróżnicowaną liczbę parametrów. Można je podzielić na przestrzenne (głównie długości i wysokości), czasowe i czasowo-przestrzenne (Iliew, Primakov 1978, Otrubiannikow i Razumowski 1988, McLean 1994).

Często wykorzystuje się dziesiątki, a nawet setki danych, dla przykładu Iliew i Primakov (1978) uwzględnili 67 parametrów, czy Wilimczik (1972), w monografii dotyczącej biegu na 110 m przez płotki, ponad 120. Do najczęściej analizowanych parametrów należą: zmiany prędkości poziomych i pionowych, odległość i wysokość ogólnego środka ciężkości, zmiany prędkości i odległość od miejsca odbicia do płotka i od płotka do miejsca lądowania, czas kontaktu stopy z podłożem, zmiany w kąta w stawie kolanowym, skokowym oraz kąt pochylecia tułowia. Liczba przedstawionych parametrów nie przesądza o wartości pracy. Poniżej zostały zestawione ze sobą przykładowe badania z uwzględnieniem liczby badanych osób oraz parametrów kinematycznych (tabela 1).

Tabela 1. Organizacja badań biomechanicznych w biegach sprinterskich przez płotki (wg Iskra 1995 z własnymi modyfikacjami).

| Źródło                   | Bieg ppł             | Materiał badawczy                    | Filmowany płotek | Kamery (częstość próbkowania) | Liczba parametrów |
|--------------------------|----------------------|--------------------------------------|------------------|-------------------------------|-------------------|
| Salo et al. (1993)       | 110m ppł             | 10 mężczyzn                          | III              | Locam 51x2 (100)              | 24                |
| Godik et al. (1993)      | 110m ppł             | 10 płotkarzy<br>10 dziesięcioboistów | VI               | Arriflex 16 SR11              | 14                |
| Salo, Grimshaw (1998)    | 100m ppł<br>110m ppł | 4 kobiety<br>4 mężczyzn              | III              | JVC GY – X1TC x 2 (50)        | 10                |
| Iskra, Bacik (1999)      | 400m ppł             | 1 mężczyzna                          | IV               | Hitachi x 2 (50)              | 11                |
| Salo (2002)              | 110m ppł             | 2 mężczyzn                           | I-IV             | Sony DCR-TRV900E (50)         | 5                 |
| Čoh (2004)               | 110m ppł             | 1 mężczyzna                          | IV, V            | Sony DSR 300 PK (50)          | 28                |
| Valamatos et al. (2005)  | 400m ppł             | 7 mężczyzn                           | IV-X             | Redlake PCI1000               | 30-40             |
| Guex (2012)              | 400m ppł             | 41 kobiet                            | I-X              | Darfish Software              | 40                |
| Lima (2013)              | 110m ppł<br>400m ppł | 2 mężczyzn                           | ?                | VICON MX3+ (90)               | 4                 |
| Iskra, Przednowek (2016) | 400m ppł             | 1 mężczyzna                          | III              | Basler Ace acA645-100gc (100) | 14                |
| Amara (2017)             | 110m ppł             | 10 mężczyzn                          | IV-V             | Sony DCR-PC108 (60)           | 35                |

Znaczny wkład w zakresie badań oceny techniki i ekonomii ruchu w konkurencjach płotkarskich mają badania oparte na metodzie dynamograficznej. Do ich przeprowadzenia wykorzystuje się czułe platformy tensometryczne pozwalające na pomiar siły reakcji podłoża (poziomych i pionowych) oraz rzetelne pomiary parametrów czasowych i prędkościowych. W badaniach tych, najczęściej analizuje się krok płotkowy, a w szczególności dwie charakterystyczne fazy: odbicie i lądowanie. Ocenę wpływu zmęczenia na zmiany na siły reakcji

podłoża podczas kroku płotkowego w biegu na 400 m przez płotki mężczyźni dokonali Schwirtz i wsp. (1990). Badania dowiodły, zwiększenie wartości maksymalnej siły pionowej w momencie odbicia. Następnie parametry kroku płotkowego w biegu na 110 metrów przez płotki przedstawił w swojej pracy McLean (1994). Udowodnił, że płotkarze o wysokim poziomie zaawansowania charakteryzują się krótszym czasem kontaktu z podłożem (głównie w pozycji lądowania) oraz mniejszą wartością maksymalną siły pionowej w pozycji odbicia. Przebieg reakcji sił podłoża dokonał również Čoh (2000), prezentując czynniki wpływające na efektywne pokonanie płotka.

W analizach biomechanicznych biegu przez płotki uwzględnia się również metodę elektromiografii (EMG). Salczenko (1974) przedstawił zmiany EMG w wybranych grupach mięśniowych podczas biegu na tym dystansie z różną prędkością. Idąc dalej aktywność elektromiograficzna mięśni nóg i siły reakcji podłoża podczas pokonania płotka przybliżyli również Mero i Peltola (1989).

Wysoki poziom rozwoju techniki sportowej w biegu przez płotki stanowi element niezbędny do uzyskania wysokiej klasy wyników. Jej analiza jest jednym z niezwykle istotnych czynników kontroli procesu treningowego. Podkreśla się, iż prace, w których możliwe jest liczbowe przedstawienie poszczególnych faz ruchu w biegu przez płotki, dostarczają więcej informacji o strukturze przestrzenno- czasowej niż badania oparte tylko na ich wizualizacji (Iskra, Bacik 1997b).

### 3. RUCH KOŃCZYN GÓRNYCH W CZASIE POKONANIA PŁOTKA

#### 3.1. Technika pokonania płotka z uwzględnieniem kończyn górnych- przegląd piśmiennictwa.

Specyfika konkurencji płotkarskich obejmuje następujące elementy: start, dobieg do pierwszego płotka, pokonanie płotka (krok płotkowy), bieg między płotkami oraz wybieg po zejściu z ostatniego płotka (Boyd 2000, Iskra 2004).

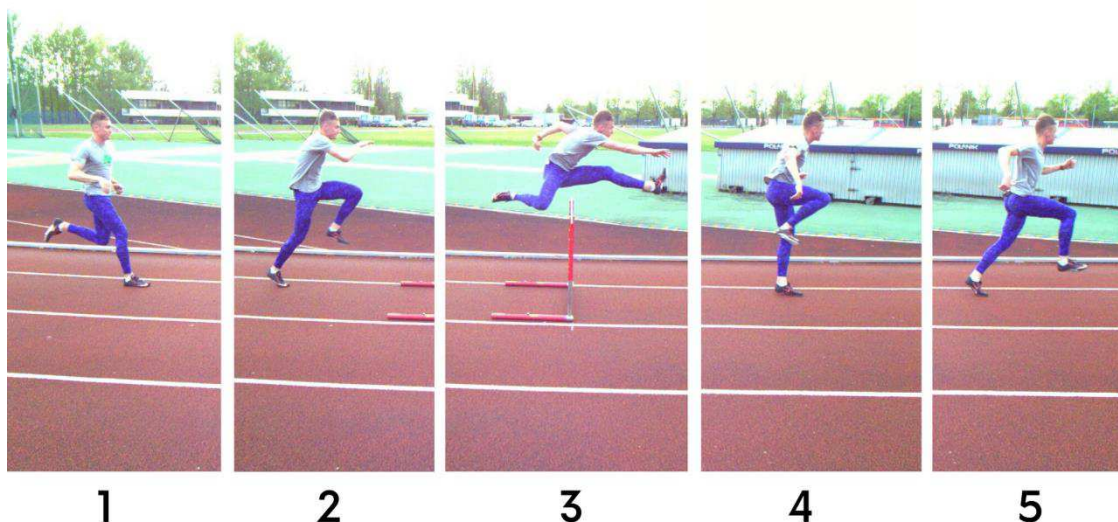
Podstawowym elementem w technice biegu przez płotki jest pokonanie płotka tzw. „krok płotkowy” (ang. „*hurdle clearance*”) (Čoh, 2003, 2008, McDonald 2003). To fragment biegu mający miejsce pomiędzy postawieniem nogi odbijającej (zakroczonej) przed płotkiem, a postawieniem nogi atakującej (wymachowej) za płotkiem. Pokonanie płotka polega na wyproście nogi atakującej (wyprowadzającej ruch), odbiciu i przeniesieniu nogi zakroczonej (ugiętej w stawie kolanowym i prowadzonej bokiem w stosunku do tułowia) oraz pochyleniu korpusu w przód z naprzemianstronną pracą kończyn górnych. Podczas tego najtrudniejszego elementu techniki biegu przez płotki można wyróżnić kilka charakterystycznych faz (McFarlane 2000):

- faza odbicia (*take off*)
- faza pokonania płotka (*clearance* lub *flight*)
- faza lądowania (*landing*)

Długość kroku płotkowego zwiększa się w miarę wzrostu dystansu oraz dzielona jest na wiele elementów. Złożoność techniczna tego fragmentu biegu, znajduje szczegółowy opis wśród kilku autorów (Iskra, Przednowek 2016) (rycina 6):

1. Przygotowanie do odbicia
2. Odbicie (tzw. „wejście w płotek”)
3. Faza tzw. „siadu płotkarskiego”
4. Lądowanie (tzw. „zejście z płotka”)
5. Przygotowanie do bieg między płotkami





Rycina 6. Struktura kroku płotkowego- pięć charakterystycznych pozycji pokonania płotka.

Prawidłowe, czyli skuteczne pokonanie płotka, będzie świadczyło o poziomie techniki płotkarskiej. Wyrażenie „prawidłowe, czyli skuteczne” pokonanie płotka wydaje się właściwe, ponieważ osiągnięcie techniki idealnej jest wysoce nieprawdopodobne.

W praktyce, tzw. „krok płotkowy” charakteryzuje się mocnym pochyleniem tułowia nad płotkiem, wysuniętą do przodu kończyną górną „atakującą” oraz zakroczną kończyną dolną mocno ugiętą w stawie kolanowym (Iskra 2013). Celem jest takie ułożenie ciała nad płotkiem, by straty prędkości i wahania środka ciężkości ciała w pionie były jak najmniejsze.

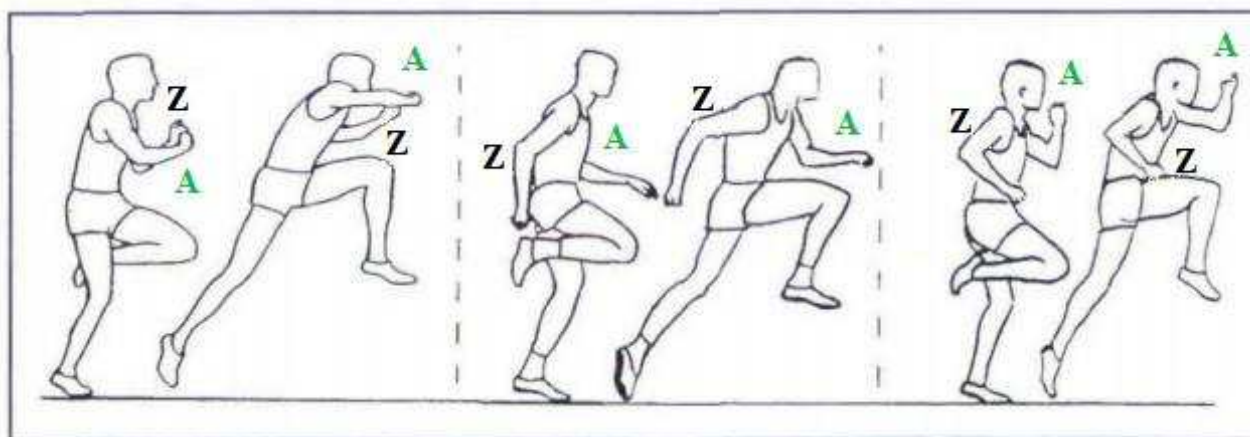
Analizując w bieżących rozważaniach technikę płotkarską, w piśmiennictwie brakuje pozycji dotyczących ruchów w zakresie kończyn górnych w czasie biegu przez płotki. Problem ten jest istotny w czasie biegu na całym dystansie, w szczególności podczas pokonania płotka (Krzeszowski 2015).

W ocenie techniki biegu przez płotki z akcentem na ruchy kończyn górnych przysłużyła się obszerna praca we włoskim czasopiśmie „Atleticastudi”, w której ukazała się szczegółowa analiza techniki biegu na 100 metrów i 110 metrów przez płotki (Bedini 1988). Uwzględniono w niej sekwencje zdjęć podczas sesji filmowych oraz pojedyncze klatki ze specjalistycznych raportów IAAF wykonanych na potrzeby badań nad biomechaniką biegu przez płotki. Obszerna analiza zostało podzielona na cztery części, odpowiadające poszczególnym momentom pokonania płotka. Wyróżniono moment ataku, „lotu”, lądowania oraz wznowienia biegu. Głównym celem było wyróżnienie najczęstszych problemów występujących w technice pokonania płotka oraz ćwiczeń korygujących postawę płotkarza. Analiza przebiegu ruchu kończyn górnych wykazała zależność z pracą innych segmentów ciała oraz z wysokością płotka. Dlatego podczas wyścigu kobiety



w porównaniu z mężczyznami prezentują ruchy bardziej naturalne i zbliżone do biegu sprinterskiego. Zauważono, iż wysokość płotków dla płotkarzy powoduje wyraźne pochylenie tułowia oraz utrzymanie ramion nisko podczas przejścia przez płotek. Bedini do najczęstszych błędów kończyn górnych zalicza: unoszenie ręki prowadzącej w górę podczas ataku płotka oraz jej „uciekanie” do tyłu w fazie lądowania za płotkiem. Błędny ruch w ostatniej fazie powoduje rotację tułowia i obręczy barkowej do tyłu, powodując utratę względnej równowagi podczas kontynuowania dalszej części wyścigu. Autor podkreśla, iż technika pokonania płotka ma wpływ na końcowy wynik biegu przez płotki, jak również powinna stanowić spójność pomiędzy rytmicznym biegiem między płotkami, a pokonaniem płotka.

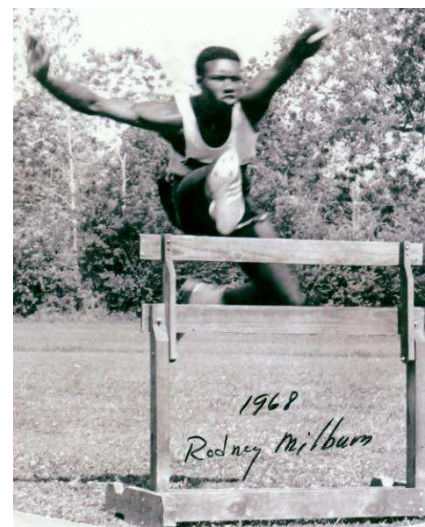
Analizy kończyn górnych dokonał również Tidow (1991), który przedstawił 3 modele ruchu kończyn górnych w momencie odbicia (rycina 7).



Rycina 7. Demonstracja technik pracy kończyn górnych (wg G. Tidow 1991). \*Z - kończyna górna „zakroczna”, A - kończyna górna „atakująca”.

Prezentowany na rycinie pierwszy model od prawej, skupia uwagę na ramieniu po stronie kończyny dolnej atakującej płotek (Z). Technika ta została nazwana półtora-ramienna („*1- and- a half lead arm technique*”) (Miller 1982) i liczona jest od pozycji: kąt pomiędzy udem kończyny atakującej płotek a tułowiem, do momentu, kiedy ramię znika z pola widzenia zasłonięte korpusem zawodnika. Kolejna technika pracy kończyn górnych- naprzemianstronna („*opposite arm*”) jest zaliczana do najczęściej stosowanych technik w biegach przez płotki oraz najbliższa naturalnej pracy ramion. Metoda ta polega na równoczesnym wyciągnięciu do przodu kończyny górnej (A) z nogą „atakującą” płotek. Przeciwna kończyna górna (Z) wykonuje wówczas ten sam ruch w płaszczyźnie strzałkowej w tył przy zachowaniu zgięcia w stawie łokciowym. Ostatnia metoda, to technika dwuramienna („*double arm*”), stosowana najrzadziej wśród zawodników biegających przez płotki. Dwuramienny styl atakowania płotków bazował na jednoczesnym

wyrzucie w przód obu kończyn górnych, na wysokości obręczy barkowej. Pionierem tego stylu biegu był Rod Milburn mistrz olimpijski z Monachium w biegu na 110 m przez płotki (rycina 8).



Rycina 8. Przykłady techniki pokonywania płotek najlepszych zawodników świata. Od lewej: Rod Milburn w biegu finałowym na dystansie 110 m przez płotki oraz IO w Monachium w 1972 r. Zdobył złoty medal bijąc rekord olimpijski z czasem 13,24 sek.

Zawodnik ten uważany jest za pierwszego płotkarza, który pokonał dystans między płotkami jak rasowy sprinter. Wilbur L. Ross twierdził, że technika dwuramienna uniemożliwia zawodnikowi bardzo szybkie bieganie i zejście poniżej bariery 13,0 sek (Wilbur, 1978). Dzieje się to za sprawą zbyt wysokiego prowadzenia kończyn górnych z jednoczesnym przesunięciem środka ciężkości do tyłu po stronie nogi atakującej płotek. Efektem jest wydłużenie czasu pokonania płotki, w przeciwieństwie do techniki naprzemianstronnej. W technice dwuramiennej Ross dopatrywał się również korzyści. Miała pomagać w tzw. „nurkowaniu” w płotek („*dove into the hurdle*”), poprzez schowanie głowy pomiędzy obie kończyny górne w pozycji odbicia i nad płotkiem.

Interesującym przykładem wśród badań naukowych są prace opisujące technikę rekordzisty świata Colina Jacksona (Čoh 2003, 2020). Zostały one przeprowadzone z wykorzystaniem trójwymiarowej analizy kinematycznej podczas biegu przez czwarty i piąty płotek. Na podstawie uzyskanych wyników, przedstawiono najważniejsze parametry określające model techniki pokonania płotki. Efektywne pokonanie przeszkody może być określane przez: prędkość poziomą i wysokość CM przed płotkiem (moment odbicia), prędkość ruchu w stawie kolanowym (kończyny „zakroczej”), jak najmniejsze straty prędkości poziomej CM podczas pokonania płotki, wysoka pozycja CM i krótki czas kontaktu stopy z podłożem w momencie lądowania za płotkiem oraz możliwe jak najmniejsze odchylenia pionowe CM, głowy, kończyn górnych i bioder w każdej fazie pokonania płotki. Autor nadmienia również, iż synchronizacja

ruchu ramion w stosunku do nogi „zakroczej” wraz z utrzymaniem równowagi to elementy, które generują utrzymanie prędkości poziomej CM po przejściu przez płotek, co jest bezwzględny warunkiem skutecznego kontynuowania biegu.

Wykorzystanie kinematycznej analizy ruchu w korygowaniu techniki pokonania płotka podjęli Iskra i Bacik (1997b). W badaniach uczestniczyła grupa 11 czołowych polskich zawodników, specjalizujących się w biegu na 110 m przez płotki. Autorzy pracy wyodrębnili parametry kinematyczne pokonania płotka (tzw. krok płotkowy), które mają największy wpływ na wynik sportowym:

1. Wartości podane w stopniach:

- kąt ugięcia ręki „atakującej” (z przodu) „nad płotkiem”,
- kąt ugięcia ręki „zakroczej” (z tyłu) „nad płotkiem”,
- kąt zgięcia NA w stawie kolanowym „nad płotkiem”,
- kąt zgięcia NA w stawie kolanowym „przy lądowaniu”,
- kąt zgięcia NZ w stawie kolanowym „nad płotkiem”,
- kąt zgięcia NZ w stawie kolanowym „przy lądowaniu”,
- kąt pochylenia tułowia podczas odbicia,
- kąt pochylenia tułowia „nad płotkiem”,
- kąt pochylenia tułowia przy lądowaniu.

2. Wartości podane w metrach:

- odległość odbicia od płotka,
- odległość od płotka do miejsca lądowania,
- długość kroku płotkowego.

Powyższe ujęcie biomechanicznej struktury pokonania płotka umożliwiło opracowanie wzorca techniki pokonania płotka w grupie płotkarzy o wysokim poziomie zaawansowania. W wyniku badań został przedstawiony zestaw błędów mających miejsce podczas pokonania płotka. Do nieprawidłowego ruchu kończyn górnych zaliczono: pasywną pracę ręki „atakującej” oraz zbyt obszerną pracę ręki „zakroczej” w momencie „nad płotkiem”. Jak podkreślają sami autorzy średnie wyniki uzyskane podczas badań stanowiły tylko wyjście do dalszych rozważań. W kolejnej próbie analizy biegu przez płotki Iskra i wsp. (2003) zastosowali analizę czynnikową do oceny parametrów kinematycznych kroku płotkowego. Udowodniono, że istnieją ściśle związki ruchu nogi atakującej z pracą kończyn górnych.

Interesujące badania nad postępowaniem techniki kończyn górnych w celu poprawy wydajności pokonania płotka prowadził McKinnon (2012). Autor w swoich rozważaniach, skupiał się na trzech elementach techniki pokonania przeszkody: szybkie dłonie, napęd kolana w fazie „nad

płatkiem” oraz najważniejsze w jego koncepcji- prowadzenie w dół kończyny górnej ramienia prowadzącego. Skuteczny ruch kończyny górnej prowadzącej (atakującej), rozpoczyna się z okolic podbródka z wyraźnym zgięciem w stawie łokciowym. Następnie, gdy kończyna dolna („atakująca”) zaczynała ruch ścigający za płatkiem, ramię zbliża się do biodra. Ponadto uważał, że napęd ramienia skierowanego w dół z punktu widzenia biomechaniki jest korzystny w momencie lądowania za płatkiem. Najważniejszym mięśniem, który ma decydujący wpływ na akcję ramienia w dół jest mięsień najszerszy grzbietu (łac. latissimus dorsi). Jego funkcja polega na opuszczeniu podniesionego ramienia i prowadzeniu go w tyłu. Rotacja ramienia płotkarza powinna następować do wewnątrz przy nadgarstku kierowanym w dół oraz stawie łokciowym skierowanym wyraźnie do tyłu. Mięsień wspomagający powyższy ruch to trójgłowy ramienia. Razem z mięśniem najszerszym grzbietu wywołują skręcenie i rotację do wewnątrz w stawie ramiennym, co wymaga skoordynowanej aktywacji mięśnia podgrzebieniowego i tylnej części naramiennego, które zapewniają przeciwwagę rotacji do zewnątrz. Siły rotacyjne tułowia zostają również zrównoważone poprzez silne mięśnie tułowia stabilizujące pozycję biegacza. Zawodnik z dobrze wypracowaną siłą mięśni tułowia dla kontroli rotacji i zgięcia, automatycznie wykonuje ten ruch poprawnie.

Ważny fragment badań biomechanicznych w biegach przez płotki stanowią analizy wpływu treningu sportowego na technikę pokonania płotka. Tematyką specyfiki treningu płotkarskiego zajął się m.in. Grimshaw (1997), oceniając różnice w strukturze ruchu charakterystycznych ćwiczeń specjalnych w porównaniu z ćwiczeniem startowym. Kontynuując rozważania na ten temat, należy wspomnieć o pracy Iskra i Przednowek (2017a), która opiera się na pracy kończyn górnych w czasie ćwiczeń specjalnych. Autorzy publikacji dokonali oceny prędkości liniowych wybranych segmentów kończyn górnych w czasie marszu przez płotki. Zawodnicy o wysokim poziomie wytrenowania, wykonywali dwie próby marszu, w tym pierwszą na nogę lepszą (którą częściej pokonują płotek na dystansie 400 m przez płotki) oraz drugą na nogę słabszą. Przyjęto trzy zasadnicze momenty pokonania płotka w marszu: odbicie, „lot” i lądowanie. Analiza danych wykazała znaczne różnice prędkości ruchów kończyny górnej w przypadku ataku nogą dominującą oraz przeciwną jej kończyną górną. Uzyskane dane dotyczyły większości z analizowanych segmentów (ramię, przedramię i dłoń) we wszystkich momentach pokonania płotka. Największą różnicę podczas ruchu kończyn górnych wykazano dla prędkości dłoni po stronie nogi „zakroczej” w momencie lądowania. Ten element był również rozpatrywany w pracy McFarlane (2000).

Analiza biomechaniczna to znana metoda oceny techniki biegu przez płotki (Iskra i Čoh 2006). Spośród licznych metod należy również zwrócić uwagę na badania elektromiograficzne

(EMG), których celem jest m.in. ocena funkcji układu mięśniowego. Obserwacja aktywności mięśniowej kończyn górnych w trakcie wybranych ćwiczeń specjalnych przez płotki jest przedstawiona przez Hyjek-Młynarczyk (2017). Zmierzono (zgodnie z zaleceniami systemu SENIAM) napięcie bioelektryczne w mięśniach: dwugłowy i trójgłowy ramienia, naramienny (część barkowa, obojczykowa, grzebieniowa) oraz ramiennie- promieniowy. W czasie badań przyjęto cztery pozycje: odbicie przed płotkiem, pozycję „lotu nad płotkiem”, lądowanie za płotkiem (kontakt stopy z podłożem), postawienia kończyny dolnej zakroczej za płotkiem (Tidow 1999). Zauważono zasadnicze różnice pomiędzy bioelektrycznością obu kończyn górnych, zarówno bez jak i z obciążeniem. Uzyskane wyniki wykazały zwiększoną aktywność bioelektryczną prawej kończyny górnej przy atakowaniu płotka lewą kończyną dolną. Najwyższe wartości amplitudy sygnału EMG odnotowano w mięśniu naramiennym, co jest zgodne z założeniem McKinnon (2012). Dodatkowe obciążenie kończyn górnych ciężarem 2kg spowodowało, iż wartości średnie znormalizowanych aktywności poszczególnych mięśni różniły się znacznie w pozycji „nad płotkiem” płotkiem. W badaniach pilotażowych Hyjek-Młynarczyk (2020) nad aktywnością bioelektryczną mięśni kończyn górnych i dolnych zawodnika 400 m przez płotki, porównano średnie wartości obu kończyn górnych w przejściu przez płotki na lewą i prawą kończynę dolną. Analiza wyników wykazała, niższe średnie wartości aktywności bioelektrycznej mięśni kończyn górnych w przejściu przez płotki na prawą kończyną dolną w porównaniu z lewą kończyną. Równocześnie zaobserwowano, iż mięśnie grupy pośladkowej kończyny prawej są o ok. 15% słabsze w porównaniu do strony lewej. Odwrotną zależność zaobserwowano w przypadku grupy mięśni czworogłowych uda i dwugłowych uda, gdzie większą aktywność odnotowano dla kończyny prawej. Różnice te jednak były na poziomie poniżej 10%, co zgodnie z danymi producenta stanowi nieistotną dysproporcję.






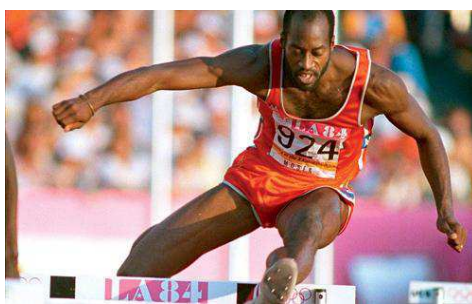
Zaproponowane metody oceny ruchu kończyn górnych znajdują zastosowanie w ocenie postępów szkolenia płotkarzy z zakresu przygotowania siłowego jak i technicznego oraz odgrywają istotną rolę w optymalizacji procesu treningowego. Ciekawe wydaje się również porównanie (analiza porównawcza) techniki ruchu kończyn górnych wśród płotkarzy na różnym poziomie wyszkolenia sportowego oraz osób nie objętych szkoleniem płotkarskich., co do tej pory nie było przedmiotem badań naukowych. Nie badano również dotychczas, wpływu zmęczenia oraz wyboru kończyny dolnej atakującej płotek na pracę kończyn górnych podczas kroku płotkowego na dystansie 400m przez płotki.

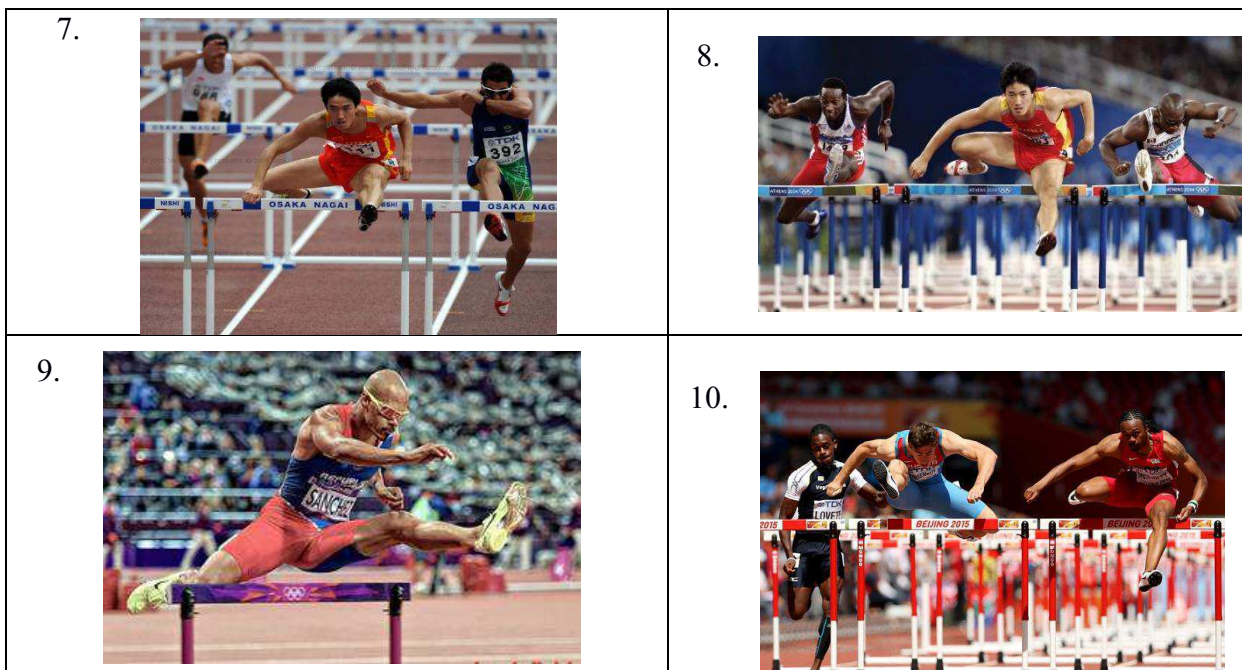


### 3.2. Technika pokonania płotka na przykładzie zdjęć, kinogramów i analiz filmowych biegu przez płotki.

Temat niniejszej pracy wydaje się być niezwykle interesujący i ważny w aspekcie aplikacyjnym, biorąc pod uwagę, iż dotychczasowe próby oceny techniki biegu przez płotki koncentrują się na kończynach dolnych. Technika ruchu kończyn górnych prezentowana na podstawie zdjęć i kinogramów zamieszczonych w literaturze naukowej i popularnonaukowej (tabela 2), również przemawia za poruszeniem tego zagadnienia.

Tabela 2. Zdjęcia najlepszych płotkarzy w trakcie pokonania płotka- przykłady.

|    |   |    |   |
|----|---|----|---|
| 1. |   | 2. |   |
| 3. |  | 4. |  |
| 5. |  | 6. |   |



W analizie wykorzystano zdjęcia ze 100-letniej historii biegu przez płotki. Prezentowani zawodnicy to: **1. Alvin Kraenzlein** - uważany za wynalazcę dziś używanego stylu w biegu przez płotki **2. Frederick Kelly** złoty medalista olimpijski na 110 m ppł, Sztokholm 1912 r., **3. Robert Morton Newburgh („Bob” Tisdall)** - złoty medalista olimpijski na 400 m ppł, Los Angeles w 1932 r. **4. George Saling** złoty medalista olimpijski na 110m ppł, Los Angeles 1932 r. **5. Kevin Young**- złoty medalista olimpijski na 400m ppł, Barcelona 1992 r. **6. Edwin Moses**- medalista trzech igrzysk olimpijskich na 400 m ppł. Zdobył złoto na igrzyskach w Montrealu w 1976 r. i w Los Angeles w 1984 r. oraz brąz w Seulu w 1988 r. **7-8. Xiang Liu**- (drugi od lewej) złoty medalista na dystansie 110m ppł, Ateny 2004. **9. Felix Sanchez**- złoty medalista olimpijski z Aten (2004) i Londynu (2012). **10. Sergey Shubenkov i Aries Merritt**- na dystansie 110m ppł - Mistrzostwach Świata, Beijing 2015 r.

### 3.3. Ruchy kończyn górnych w aspekcie szkolenia sportowego

Ciekawy artykuł na swojej stronie przedstawia amerykańska trenerka Sirena World (<http://sirenasworld.com/2013/03/14/how-to-hurdle-arm-placement/>) wyróżniając pięć najczęściej stosowanych sposobów pracy kończyn górnych w biegu przez płotki.

- 1. Pchanie** (ang. „*The Pusher*”) - polega na wyrzucie do przodu ręki przeciwnej do nogi atakującej, w momencie zejścia z płotka przy jednoczesnym ściągnięciu nogi zakroczonej.
- 2. Retro** (ang. „*Retro*”) - technika kończyn górnych przypominająca ruchy pływackie, zawodnik podczas biegu wygląda jakby „przeplwał” przez płotek.
- 3. Blokowanie** (ang. „*Bloking*”) - najbardziej rozpowszechniona forma pracy kończyn górnych podczas pokonywania przeszkód. Ramię wiodące zgięte w stawie łokciowym prowadzone jest równoległe do obręczy barkowej i zdecydowanie wysunięte przed tułów. Przeciwna ręka podąża wahadłowo zza pleców do przodu wraz z zejściem z płotka.

4. **Zasięg** (ang. „*The Reach*”) - technika ta przypomina dwuramienną, gdyż obie kończyny górne kierowane są do przodu, gdy noga atakująca pokonuje płotek, a w momencie lądowania cofają się do tyłu.
5. **Krótkie uderzenie** (ang. „*Short punch*”) - struktura ruchu podobna jest do techniki blokowania z tym wyjątkiem, że jej czas trwania jest o wiele krótszy. Daje to w efekcie krótki i dynamiczny ruch, który porównywany jest do uderzenia bokserskiego.

Powyższe nazewnictwo jest nieco enigmatyczne, ale warte przedstawienia (głównie z szkoleniowego punktu widzenia). Wymienione techniki porządkują tematykę związaną z pracą kończyn górnych na dystansach płotkarskich. Autorka w końcowych rozważaniach właściwie podkreśla istotę pracy kończyn górnych w nauczaniu i doskonaleniu mistrzostwa sportowego. Jednocześnie, nie wyróżnia żadnej techniki, gdyż jak zaznacza powinna ona być dostosowana do poziomu i umiejętności indywidualnych zawodnika. Stave McGill (2005) ruch kończyn górnych w biegach przez płotki sprowadza do kluczowej roli dla efektywności pokonywania płotka (skracania jego czasu). Twierdząc, że za zachowanie równowagi ciała biegacza odpowiedzialne są kończyny górne, a zwłaszcza ramię wiodące. Zaburzenie ruchu kończyn górnych ma wpływ na ułożenie ciała w locie nad płotkiem obręczy barkowej i stawu biodrowego, co może skutkować zachwianiu równowagi w momencie lądowania za płotkiem.

### **3.4. Uporządkowanie pojęcia „kończyn górnych" w biegach przez płotki.**

Zagłębiając się w literaturę naukową można zauważyć, obszernie zilustrowany dział poświęcony technice biegu przez płotki. Poruszona tematyka w publikacjach naukowych obejmuje szeroki wachlarz zagadnień od „modelu” techniki płotkarskiej, budowy somatycznej, ułożenia ciała w poszczególnych momentach pokonania płotka, lateralizacji, istoty „rytmu” płotkarskiego, jak również aspektów związanych z biomechaniczną oceną kroku płotkowego. W praktyce badań nad strukturą biegu przez płotki naukowcy skupiając uwagę na fragmencie pokonania płotka, z akcentem na parametry kinematyczne kończyn dolnych, prawie całkowicie pomijając kończyny górne. O małym zainteresowaniu tym problemem świadczy fakt, iż brak jednoznacznego nazewnictwa mogącego identyfikować elementy techniki biegu, które jednocześnie mogłyby być w pełni akceptowane przez naukowców. Analiza ruchów kończyn górnych w czasie biegu przez płotki i wybranych ćwiczeń specjalnych wymaga sprecyzowania nazewnictwa (tabela 3, 4).



Tabela 3. Przykładowe nazewnictwo związane z pracą kończyn górnych w biegach przez płotki-gradacja według słuszności wyboru.

| Nazewnictwo badawcze  | Nazewnictwo treningowe     | Opis  |
|---|----------------------------|---|
| Bieg przez przeszkody w rytmie 3-krokovym”                    | Bieg przez płotki (sprint) | Pokonanie dystansu płotkarskiego w jak najkrótszym czasie                   |
| Ruch kończyn górnych  | Praca kończyn górnych      | Ruchy kończyn górnych we wszystkich częściach kroku płotkarskiego           |
| Skip przez płotki   | „Marsze” przez płotki      | Podstawowe ćwiczenie płotkarskie wykonywane przez środek lub z boku płotków |
| Trucht przez płotki, pokonywanie płotka z boku w lekkim biegu | „Pędzel” płotkarski        | Podstawowe ćwiczenie płotkarskie wykonywane w truchcie                      |
| Bieg przez płotki na dłuższym dystansie                       | „Rytmy” płotkarskie        | Pokonanie dystansu płotkarskiego w określonej liczbie kroków                |

Tabela 4. Słownik pojęć związanych z ruchem kończyn górnych w biegach przez płotki.

| Nomenklatura anglojęzyczna | Tłumaczenie   |
|----------------------------|---|
| <b>lead</b>                | kierować, <b>prowadzić</b> , dowodzić, pokazywać drogę, zapoczątkować, przewodzić |
| <b>opposite</b>            | przeciwległy, <b>przeciwny</b> , po przeciwnej stronie, naprzeciw                 |
| <b>trail</b>               | pociągać za sobą, ulec, ciągnąć, wlec za sobą, ślad                               |

Tłumaczenie pojęć związanych z techniką kończyn górnych w czasie pokonywania płotka z języka angielskiego może powodować pewne niezrozumienie, ponieważ tłumaczenie pojęcia „trail arm”, które oznacza „ręka zakroczna”, jest zapożyczone z tzw. gwary sportowej, występującej prawie w każdej grupie praktycznie zajmującej się dowolną dyscypliną sportu.

Nomenklatura, która używana jest w pracach badawczych, posługuje się różnymi określeniami związanymi z pracą kończyn górnych. By lepiej zrozumieć podjętą w tej pracy

problematykę badawczą należy usystematyzować ogół pojęć związanych z techniką ruchu ramion w biegu przez płotki (tabela 5).

Dla przejrzystości pracy przyjęto następujący wybór nazewnictwa kończyn górnych wg Iskra 2004: ramię atakujące („A” - kończyna przeciwna do nogi atakującej) ramię zakroczne („Z” - kończyna górna przeciwna do nogi zakroczonej) (rycina 7).

Tabela 5. Wybór nazewnictwa związanego z ruchem kończyn górnych w biegach przez płotki – gradacja według słuszności wyboru.

| Kończyna górna | „Z przodu”   | „Z tyłu”   |
|----------------|--|--|
|                | Prowadząca   | Przeciwna  |
| Ramię          | <b>Atakujące</b><br>Wiodące                              | <b>Zakroczne</b><br>Ustępujące   |
|                | „przy nodze zakroczonej”<br>„przeciwna nodze atakującej” | „przy nodze atakującej”<br>„przeciwna nodze zakroczonej”<br>„po stronie nogi atakującej” |
|                | „pierwsza ręka”  | „druga ręka”   |
|                | „prawa/ lewa ręka”                                       | „lewa/ prawa ręka”   |

Przypatrując się bliżej tej kwestii zauważyć można, iż brakuje dokładnej charakterystyki i analizy poświęconej pracy kończyn górnych, jako istotnego elementu pokonywania płotka (tabela 6 i 7).

Tabela 6. Kończyny górne w biegach przez płotki – próba usystematyzowania nazewnictwa.

| Język     | Źródło             | Kończyna górna „atakująca”                         | Kończyna górna „zakroczna”                              |
|-----------|--------------------|--|---|
| Angielski | Paish (1986)       | Lead arm (active arm)                              | Opposite arm (free arm)                                 |
|           | Arnold (1992)      | Lead arm także: double arm                         | Opposite arm  |
|           | McFarlane (2004)   | Lead arm także: single arm oraz one-and-a-half-arm | Opposite arm  |
|           | Ballesteros (1992) | „leading” hand                                     | „the arm next to the leading leg”                       |
|           | Thompson (1991)    | „shoulders”  | „shoulders”   |
|           | Cowburn (2006)     | „lead arm is the arm ”                             | „trail arm simply acts to counterbalance the trail leg” |

|           |                         |   |   |
|-----------|-------------------------|---|---|
|           | L. Rogers (1999)        | „the lead arm should „sweep” back in a wide arc.” | „the trail arm stays relaxed with the hand near the hip”      |
|           | Winckler (2000)         | “the lead arm in opposition to the trail leg”     | “the trail arm (on the side of the lead leg)”                 |
|           | McGill (2005)           | „the lead arm swings across the body”             | „puttig the trail arm on the hip during the hurdle clearance” |
| Niemiecki | Strüder i wsp. (2013)   | „Der Arm auf der Schwungbeinseite”                | „Der Gegenarm”  |
| Francuski | Billouin (1985)         | „Épaules (bras)”                                  | „l’autre bras le bras côté jambe”                             |
|           | Faye J.A. (2011-2012)   | „coté de la jambe d’attaque”                      | „et avance de l’autre coté”                                   |
| Czeski    | Jakoubek J. (2017)      | „Paža na strane odrazovej dolnej končatiny”       | „Paža na strane švihovej dolnej končatiny”                    |
|           |                         | Vedoucí (švihová) paže                            | Druhá paže  |
|           | Kuchen, A. i wsp., 1987 | Vedoucí paže je ohnuta                            | loket druhé paže  |

Tabela 7. Polska nomenklatura kończyn górnych w biegach przez płotki (wybór)

| <b>Źródło</b>    | <b>Kończyna górna „atakująca”</b>  | <b>Kończyna górna „zakroczna”</b>  |
|------------------|--|--|
| Dudziński (1977) | „Ruchy kończyn górnych przy przejściu płotka i „schodzeniu” z niego, powinny być wykonywane blisko tułowia, ugięte w stawach łokciowych, przy czym, przedramię i dłoń kończyny poruszającej się z przodu w tył przechodzi nisko nad udem nogi zakrocznej” (s. 45). |  |
| Radiuk (1986)    | „Ręka dalsza nodze atakującej, ruchem zdecydowanym ciągnąc dłoń w przód nad płotek, powinna znajdować się na wysokości pięty nogi atakującej, a nawet nieco niżej” (s. 207).   | „Ręka bliższa nodze atakującej wykonuje w tym czasie nieznaczny ruch łokciem w tylny-dolny położenie, niezbyt daleko odchodząc w bok od tułowia” (s. 207). |
| Stawczyk (1999)  | „W momencie, gdy zawodnik znajduje się nad płotkiem .... kończyna górna przeciwstawna nodze atakującej wysunięta „daleko” do przodu”. (s. 209- 210)  |  |

|                        |   |   |
|------------------------|---|---|
| Czwórnóg i wsp. (1993) | „Równocześnie z ruchem nogi atakującej zostaje wysunięta w przód ręka przeciwna.” (s. 89)   |   |
| Iskra (1997a)          | „Ramię po stronie nogi atakującej jest silnie ugięte w stawie łokciowym i biernie trzymane blisko tułowia. W tym samym czasie ramię przy nodze zakroczonej zgina się wykonując ruch w tył”. (s. 195)  |   |
| Iskra (1997a)          | „ .... w kierunku stopy aktywnie zmienia dłoń przeciwnej ręki.” (s. 196)  | „Ramię nogi atakującej jest silnie ugięte w stawie łokciowym biernie trzymane blisko tułowia” (s. 196)    |
| Obrocka (2006)         | „Kończyna górna, przeciwstawna nodze atakującej, wysunięta w przód, zabezpiecza równoważne położenie tułowia i barków”. (s. 44)   | „Kończyny górne są ugięte w stawach łokciowych, ułożone naprzemianstronnie w stosunku do nóg”. (s. 44)    |
| Iskra (2004)           | „... zasada „przeciwnej ręki” (lewa noga-prawa ręka) lub odwrotnie. Zarówno „noga atakująca” jak i przeciwna ręka „atakująca” są prawie całkowicie wyprostowane i zwrócone w kierunku biegu”. (s. 69) |   |
| Komorowski (2007)      | „Ręka przeciwna do nogi atakującej wysuwa się do przodu do kolana nogi atakującej”. (s. 50)   | „Druga ręka” pozostaje ugięta przy tułowiu”. (s. 56)  |
| Stodółka i wsp. (2007) | „Ręka przeciwna do nogi atakującej” prowadzona jest do wyprostu w przód, na wysokość stopy nogi atakującej”. (s. 52)  | „Ramiona ugięte w stawach łokciowych i ułożone naprzemianstronnie w stosunku do kończyn dolnych”. (s. 52) |

Komentarz:

- analiza wyłącznie w czasie pokonywania płotka
- o „drugiej” kończynie górnej (zakroczonej) prawie się nie wspomina.

Analiza powyższej terminologii pokazuje bogaty wachlarz pojęć, związany z tematyką kończyn górnych w biegu przez płotki podejmowanych przez dotychczasowych autorów. Obszerny rys historyczny tej dyscypliny, wyróżnia doskonałych płotkarzy, nie tylko ze względu na poziom uzyskiwanych wyników, lecz również na ich nietypową technikę pracy kończyn górnych.

#### 4. Cel pracy i pytania badawcze

##### Cel pracy

Uwzględniając aktualny stan badań na temat przebiegu ruchów kończyn górnych w kroku płotkowym sformułowano następujący cel pracy.

Celem pracy była ocena ruchu kończyn górnych podczas pokonania płotka w biegu przez płotki oraz w ćwiczeniach specjalnych z uwzględnieniem techniki pokonywania płotków na obydwie kończyny dolne.

Realizacja tak sformułowanego celu pracy wymagała postawienia następujących pytań badawczych:

1. Czy występują różnice ruchu kończyn górnych w czasie pokonania płotka w grupach o różnym poziomie zaawansowania sportowego? W którym momencie pokonania płotka są one najbardziej widoczne?
2. Czy wybór kończyny dolnej w ćwiczeniach specjalnych wykonywanych w marszu ma wpływ na zmianę parametrów kinematycznych kończyn górnych?
3. Jakie są zmiany parametrów kinematycznych kończyn górnych w aspekcie czterech wariantów biegu przez płotki (pokonanie płotka prawą i lewą kończyną dolną oraz dla dwóch powtórzeń biegu z przerwą wypoczynkową 1 minuta).

Analiza piśmiennictwa, własne doświadczenie w pracy trenerskiej oraz wstępna analiza zgromadzonego materiału, pozwalają na postawienie następujących hipotez:

1. Podczas pokonania płotka w momencie pozycji „nad płotkiem” i lądowania występują różnice ruchu kończyn górnych w grupach o różnych poziomach zaawansowania sportowego (studenci wychowania fizycznego i trenujący płotkarze).
2. Wybór kończyny dolnej w ćwiczeniach specjalnych wykonywanych w marszu przez płotki wpływa na zmianę parametrów kinematycznych ruchu kończyn górnych.
3. Płotkarze w próbach biegu po 1minucie przerwy charakteryzują się zwiększonymi wartościami parametrów przestrzennych ruchu kończyn górnych. Pokonanie płotka na lewą kończyną dolną jest korzystniejsze podczas biegu na wirażu.

## 5. Materiał i metody

### 5.1. Materiał badawczy

Badania przeprowadzono w latach 2018-2019 r., obejmowały one 3 grupy badawcze (tabela 8). W maju 2018r. przeprowadzono pierwsze badania w grupie studentów PWSZ w Raciborzu (Grupa I), którzy nigdy nie mieli styczności z biegami przez płotki. W ten sposób został wyeliminowany czynnik treningowy. Były to badania przekrojowe, weryfikacyjne, w formie obserwacji bezpośredniej uczestniczącej.

W dwóch pozostałych grupach skupiono się na mężczyznach specjalizujących się w biegach sprinterskich przez płotki (Grupa II i III). W analizie uwzględniono 54 najlepszych polskich zawodników, posiadających staż treningowy minimum 5 lat oraz kwalifikujących się do kategorii wiekowej: młodzieżowiec/ senior. Badania zostały przeprowadzone w okresie przedstartowym - bezpośrednio poprzedzającym starty w sezonie.

Tabela 8. Charakterystyka badanych grup.

| <b>Grupa</b>   | <b>n</b> | <b>Wiek (lata)</b> | <b>Pomiar</b>            |
|--|----------|--------------------|--------------------------|
| I. Studenci Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Raciborzu  | 45       | 19-25              | Maj 2018                 |
| II. Zawodnicy biorący udział w Mistrzostwach Polski 2018.  | 35       | 23-27              | Luty 2018<br>Lipiec 2018 |
| III. Olimpijczycy, członkowie kadry narodowej i reprezentanci Polski (uzyskana klasa sportowa: I, M, MM) | 13       | 20-29              | Maj 2019                 |
|  | 8        | 20-25              | Kwiecień 2019            |

Dobór badanych obiektów odbywał się w sposób celowy. Autorka pracy za odpowiednie do przeprowadzenia badań uznała obiekty sportowe, o odpowiedniej infrastrukturze i wyposażeniu, które mogą przeprowadzać zawody wszystkich szczebli krajowych oraz międzynarodowych.

Badania były przeprowadzone w ramach projektu: „Biomechaniczne i treningowe aspekty ćwiczeń specjalnych w biegach przez płotki” badań realizowanych przez fundusz młodych naukowców i uczestników studiów doktoranckich. Badania posiadały również zgodę Komisji Bioetycznej AWF Katowic.

## 5.2. Metody i narzędzia

W związku z interwencyjnym charakterem badań mających na celu ocenę techniki kończyn górnych w biegach przez płotki wykorzystano następujące metody badawcze:

1. **Metoda ekspercka (delficka)** – opierająca się na ocenie jakościowej techniki sportowej. Ocenę techniki biegu przez płotki na podstawie materiału fotograficznego przeprowadził wcześniej Bedini (1988).

Próba obejmowała dwukrotne przebiegnięcie na czas dystansu 60 m przez płotki oraz wykonana była na sygnał startowy. Ćwiczenie było wykonane w rytmie 3-krokowym, z przerwą 15 min pomiędzy każdą próbą. Bieg na tym dystansie to podstawowe ćwiczenie w treningu płotkarskim oraz w programie nauczaniu wychowania fizycznego w szkołach średnich i wyższych (Arnold 1992, McFarlane 2000, Husbands 2013, Iskra (ed.) 2008b). Materiał video został zarejestrowany za pomocą trzech zsynchronizowanych kamer Sony DSC-HX300, które rejestrowały obraz o rozdzielczości 1920x1080 z częstotliwością 50 Hz, ustawionych pod kątem 90° (Salo 2002, Iskra 2003). Układ odniesienia stanowiła krawędź pozioma płotka. Filmowany materiał został później przeanalizowany przez trzech ekspertów (trenerów klasy mistrzowskiej i pierwszej) z osiągnięciami w szkoleniu osób wyczynowo biegających przez płotki. Do oceny wykorzystano materiał video oraz kinogramy pokonania trzeciego płotka. Zgodnie z wcześniejszymi pracami (Schlüter 1981, McDonald i Dapena 1991a, 1991b, Salo i wsp. 1997a, Čoh i Dolenc 2008). Wszystkie obrazy zostały utworzone w programie Kinovea, który umożliwia pobieranie danych cyfrowych z kamer i przesyłanie ich do komputera (rycina 9).



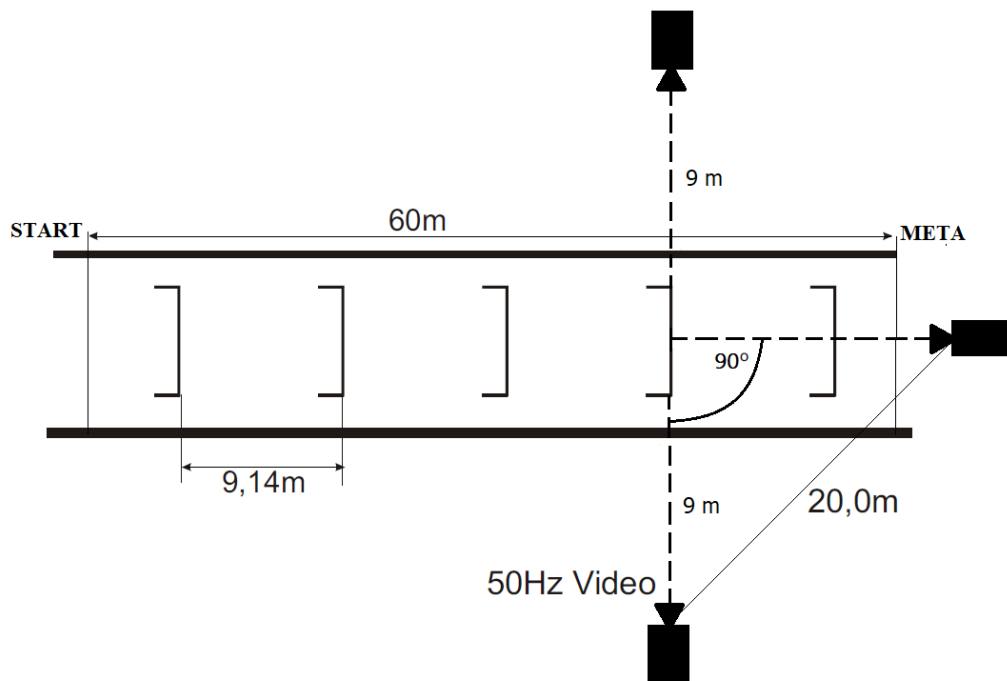
Rycina 9. Analiza fotograficzna pokonania trzeciego płotka (przykład).

Bieg przez płotki przeprowadzony był w dwóch grupach:

**Grupa i** - (studenci PWSZ) uwzględniono standardową odległość od linii startu do pierwszego płotka (tzw. dobieg 13,72 m), wysokość i rozstaw między płotkami, zgodny z Gasilewski (2009). Wysokość dla mężczyzn wynosiła 75% średniej długości kończyny dolnej (0,69 m) z odległością między płotkami 4 razy średnia wysokość ciała (7,20 m).



**Grupa II** – (zawodnicy startujących na Mistrzostwach Polski U20 i Seniorów w sezonie 2018/2019). W badaniu przyjęto standardową odległość od linii startu do pierwszego płotka (13,72 m), wysokość płotków wynosiła 107 cm z odległością między przeszkodami 9,14 m. Określono trzy zasadnicze momenty wg Krzeszowski i wsp. (2016): M2 (odbicie), M3 (pozycja „nad płotkiem”) oraz M4 (lądowanie). Pomiaru dokonano na stadionie bocznym podczas trwania zawodów. Stanowisko pomiarowe przedstawia rycina 10.



Rycina 10. Stanowisko pomiarowe (wg Amritpal i Shamshe 2015)

Do oceny techniki pokonywania płotka (przeszkody) wykorzystano autorski kwestionariusz, uwzględniający trzy momenty pokonywania płotka (odbicie, pozycję „nad płotkiem” oraz lądowanie) oraz obydwie kończyny górne (tabela 9). W ocenie jakościowej techniki kończyn górnych podczas pokonania płotka wykorzystano 11 wariantów ruchu kończyną górną „atakującą” i 11 w ruchu kończyną przeciwną (zakroczną). Ocena ww. 22 elementów tworzy swoistą „mapę” pozwalającą wstępnie zdefiniować ruchy kończyn górnych podczas pokonywania płotka.



Tabela 9. Kwestionariusz analizy jakościowej techniki ruchu kończyn górnych podczas pokonywania płotka.

| MOMENT pokonania płotka    | „Ramię atakujące (kończyna prowadząca)” | „Ramię zakroczne” (kończyna przeciwna)                                |   |
|----------------------------|---|---|---|
|                            | Ruch w stawie ramiennym                 | Ruch zginania i prostowania w stawie łokciowym (wg osi poprzecznej) * | Płaszczyzna strzałkowa (wg osi poprzecznej) |
| I. Odbicie                 | Zginanie                                | Brak zgięcia (kończyna wyprostowana) *                                | Powyżej osi stawu ramiennego                |
| II. Pozycja „nad płotkiem” | Zginanie i odwodzenie skośnie           | Zgięcie (kął rozwarty)  | Na osi stawu ramiennego                     |
|                            | Odwodzenie                              |   |   |
| III. Lądowanie             | Prostowanie i odwodzenie skośnie        | Zgięcie (kął ostry)   | Poniżej osi stawu ramiennego                |
|                            | Prostowanie                             |   |   |

\* położenie ramienia względem przedramienia, = zgięcie w stawie łokciowym

<sup>a</sup> - osoba oceniająca (ekspert) otrzymuje instrukcję oceny techniki ruchu kończyn górnych.

2. **Metoda kinematyczna** - pomiary obejmowały pokonywanie płotka prawą oraz lewą kończyną dolną. W przypadku płotkarzy na 400 m, lewa kończyna dolna jest najczęściej kończyną dominującą (w większości startów 7-8 razy atakują płotek na całym dystansie).

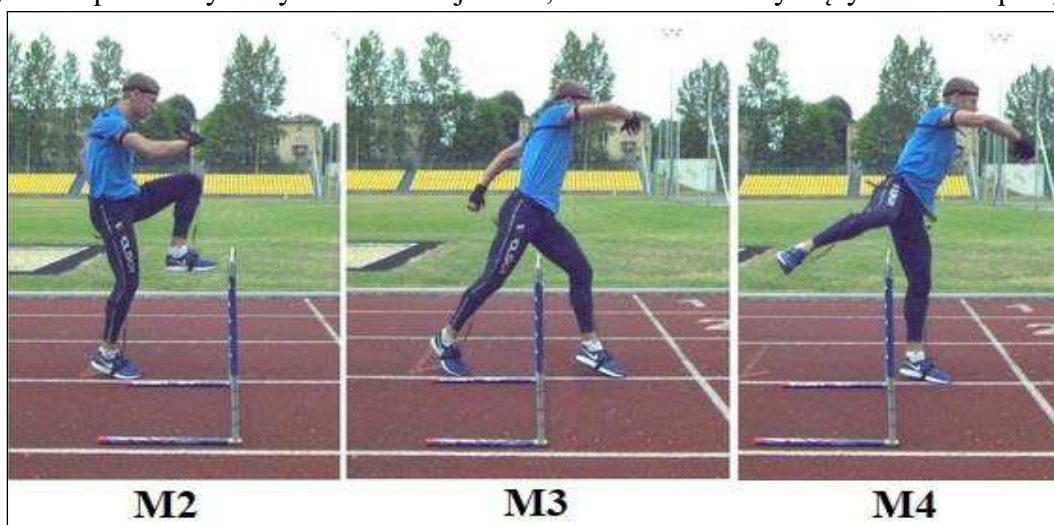
Analiza kinematyczna dotyczyła dwóch ćwiczeń specjalnych:

**I. „Marsz” przez płotki** („marsze” w biegach przez płotki nie są typowym marszem – bez fazy lotu. Ćwiczenie to, w niektórych przypadkach wykazuje krótkotrwałe oderwanie stopy od podłoża). W badaniu wzięli udział płotkarze biegający na dystansie 110 m ppł (n= 8).

Podczas ćwiczenia zawodnicy wykonywali marsz przez płotki po dwa razy na kończynę dolną dominującą oraz do niej przeciwną (ustępującą). Wysokość płotków wynosiła 91 cm z odległością między płotkami 100 cm. Jest to najczęściej używane ćwiczenie w treningu technicznym płotkarzy (McFarlane 2000, Iskra 2012a). Każda próba powtórzona została dwukrotnie. Określono trzy zasadnicze momenty podczas przejścia przez trzeci płotek: M2 (odbiecie), M3 (pozycja „nad płotkiem”) oraz M4 (lądowanie) (rycina 11). Przyjęty podział jest zgodny z wieloma wcześniejszymi publikacjami (Iskra i Przednowek 2016, Krzeszowski i wsp.

2016). Wyznaczono parametry prędkościowe dla kończyn górnych w wyznaczonych momentach oraz dodatkowo przedstawiono trajektorie ruchu podczas pokonania trzeciego płotka.

Aktywizacja parametrów kinematycznych marszu przez płotki została zrealizowana z wykorzystaniem systemu Perception Neuron z oprogramowaniem AxisNeurono Pro (Noitom Technology, 2017), składającego się z czujników bezwładnościowych (IMU Motion Capture). Czujniki pracowały przy częstotliwości 120 Hz, a dane zostały przechwycone bezprzewodowo za pomocą sieci WiFi. Urządzenie było kalibrowane przed każdą sekwencją. Niezbędne transformacje i obliczenia zrealizowano za pomocą oprogramowania Matlab. W analizie techniki pokonywania płotka wykorzystano 18 czujników; w badaniach dotyczących tematu pracy 8 – po



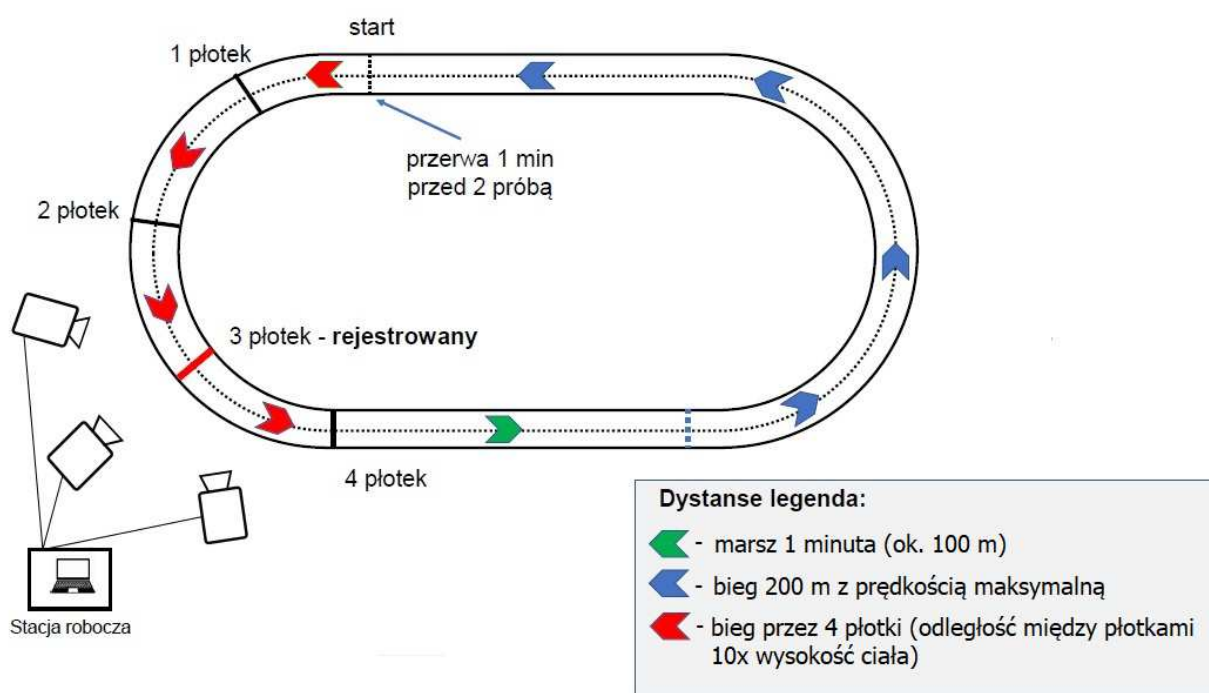
4 na każdą kończynę górną. Ww. procedura badawcza została wykorzystana we wcześniejszych badaniach (Iskra i Przednowek 2017a, Iskra i wsp.2017b).

Rycina 11. Analiza kinematyczna pokonania płotka w trzech zasadniczych momentach; M2 – odbicie, M3 – pozycja „nad płotkiem” (środek ciężkości nad płotkiem), M4 – lądowanie.

**II. Bieg przez płotki** – podczas testu każdy zawodnik wykonywał dwie próby biegu przez płotki. Próba polegała na pokonaniu czterech płotków na wirażu (wysokość płotka 0,91 m), następnie marszu 100 m (aktywna przerwa), po czym następował bieg na odcinku 200 m (bieg na czas) (rycina 12). Konstrukcje testu oparta była na wariantach treningu tzw. wytrzymałości „rytmowej” (Warburton 1984, McFarlane 2000, Iskra 1999, 2016). Ćwiczenie było powtarzane dwukrotnie – dwie pierwsze próby wykonywane były na kończynę lewą (dominującą) z przerwą pomiędzy biegami wynoszącą 1 minutę. Następnie zawodnik wykonywał przerwę 20 minut i rozpoczynał kolejne dwie próby na przeciwną kończyną dolną (prawą), również z przerwą wynoszącą 1 minutę.

Pokonanie przeszkody podczas zwiększonego zmęczenia zazwyczaj prowadzi do zmiany kończyny dolnej atakującej płotek oraz nagłe skrócenie lub wydłużenie ostatnich kroków przed płotkiem, by tego uniknąć odległość między płotkami na wirażu wynosiła dziesięciokrotność wysokości zawodnika (Iskra 2012a).

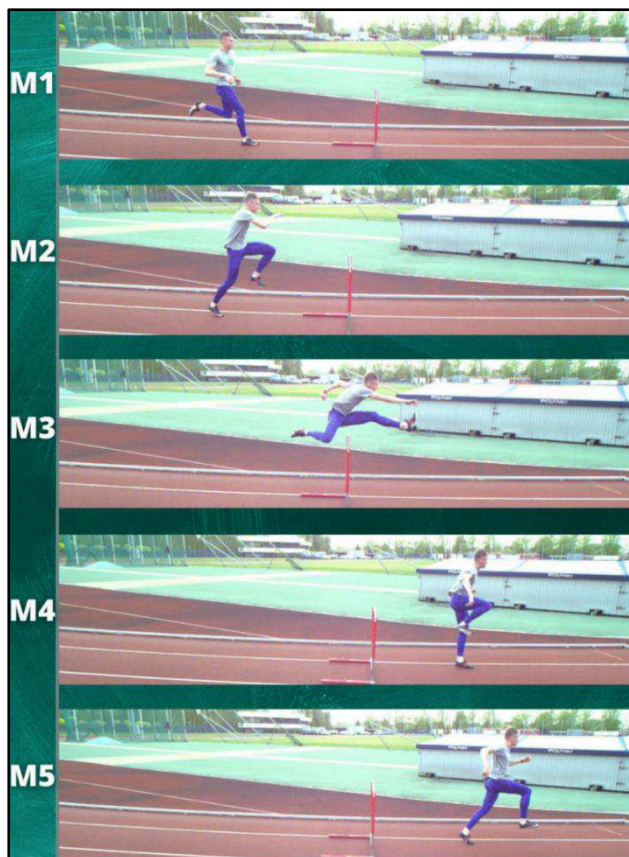
Podczas rejestracji zostały wykorzystane trzy zsynchronizowane kamery Basler ace acA1920-150uc, które rejestrowały obraz o rozdzielczości 1920x1080 z częstotliwością 100 Hz (rycina 12). Akwizycja została zrealizowana za pomocą programu StreamPix. Parametry modelu kamery, wykorzystywane w procesie rzutowania modelu 3D postaci ludzkiej do przestrzeni obrazu, zostały wyznaczone przy pomocy metody kalibracji zaproponowanej przez Tsai (1986).



Rycina 12. Schemat biegu przez płotki.

Wykorzystano specjalną tablicę kalibracyjną, która składała się z czarno-białej szachownicy. W badaniach Čoha (2003), zgodnie z krzywą prędkości wyścigu, prędkość między trzecim, a piątym płotkiem jest największa, dlatego analizie podlegał trzeci płotek: moment przygotowania do odbicia (M1), moment odbicia (M2), moment „nad płotkiem” (M3), moment lądowania (M4) oraz moment przygotowania do biegu (M5) (rycina 13). Następnie na obrazy z trzech kamer został naniesiony model 3D dla każdego zawodnika, uwzględniając jego podstawowe cechy somatyczne (tj. wysokość ciała i długość kończyn). Następnie zostały odczytane parametry kątowe i odległościowe dla poszczególnych momentów pokonania płotka. Ww. procedura została zaprezentowana na 34<sup>th</sup> International Conference on Biomechanics in Sport i opublikowana w materiałach konferencyjnych (Iskra i Przednowek 2016) oraz opublikowana w recenzowanych

pracach naukowych (Przednowek i wsp. 2014b, Przednowek i wsp. 2016, Krzeszowski i wsp. 2015, 2016, 2017).



Rycina 13. Analiza pokonania płotka w pięciu charakterystycznych momentach.

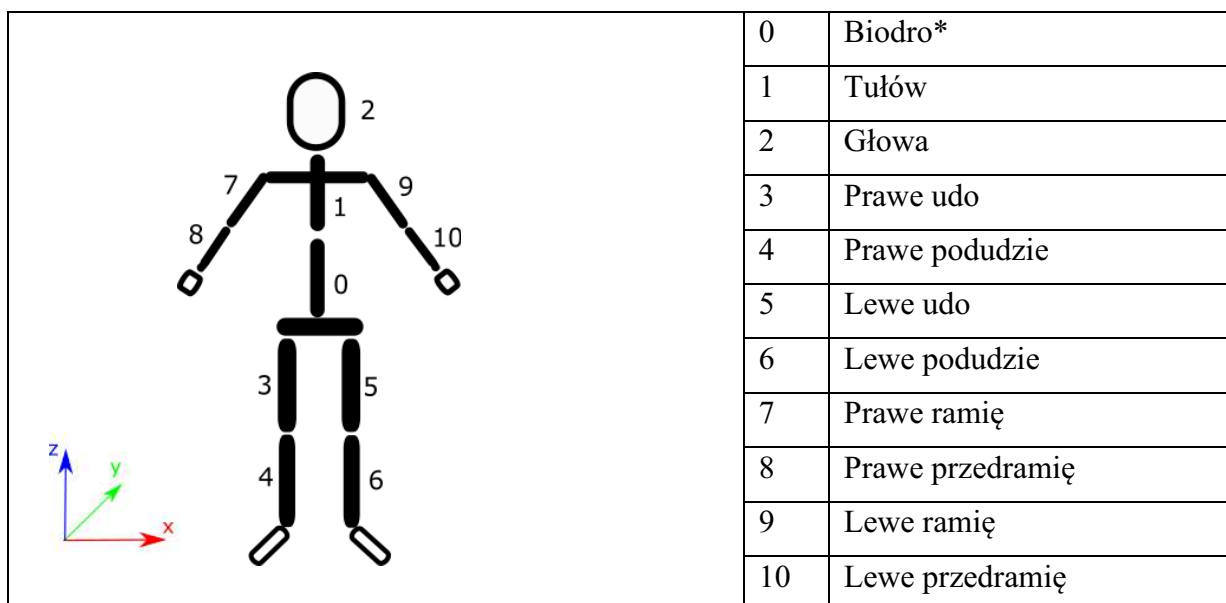
#### Model 3D postaci ludzkiej

Model 3D służy do określenia konfiguracji postaci ludzkiej, tj. pozycji i orientacji w przestrzeni, a także kątów pomiędzy poszczególnymi segmentami. Na rycinie 14 przedstawiono wyznaczony przez algorytm szkielet, który był nanoszony na sylwetkę zawodnika w momencie lądowania za płotkiem. Model zastosowany w tych badaniach opiera się o łańcuch kinematyczny,



Rycina 14. Wyniki śledzenia zawodnika w momencie lądowania w biegu 1.

który zapewnia kolejność realizacji przekształceń geometrycznych i odwzorowuje rzeczywisty ruch postaci ludzkiej (Kwolek i wsp. 2012, Deutscher i Reid 2005). Wykorzystany podczas badania model ma jedenaście ruchomych segmentów oraz operuje w dwudziestoczworowym wymiarowej przestrzeni swobody. Przekształcenia geometryczne są realizowane zgodnie z prawoskrętnym układem współrzędnych. Przestrzeń, w której działa model zależy od liczby stopni swobody. W każdym stawie modelu postaci ludzkiej zachodzi rotacja względem osi x, y i z. Na rycinie 15 przedstawione zostały nazwy ruchomych segmentów modelu.



\*w niektórych pracach np. Krzeszowski (2013) parametr ten określany jest jako „root” – korzeń lub Iskra i wsp. (2017) określany jest jako biodro.

Rycina 15. Struktura kinematyczna modelu 3D postaci ludzkiej.

Wyjątek stanowi „korzeń” modelu (znajduje się w biodrze), ponieważ odpowiada on za przesunięcie i rotację całego modelu. Posiada on sześć stopni swobody, gdzie trzy stopnie odpowiadają za realizację przesunięcia modelu, a trzy za rotację modelu w przestrzeni. Każde z ramion posiada po trzy stopnie swobody. Dwa stopnie swobody posiadają udo i podudzie, ponieważ nie mają możliwości obrotu wokół własnej osi. Pozostałe segmenty modelu takie jak przedramię, głowa i tułów mają po jednym stopniu swobody. Całościowe zestawienie stawów modelu z ich liczbą stopni swobody przedstawia tabela 10.

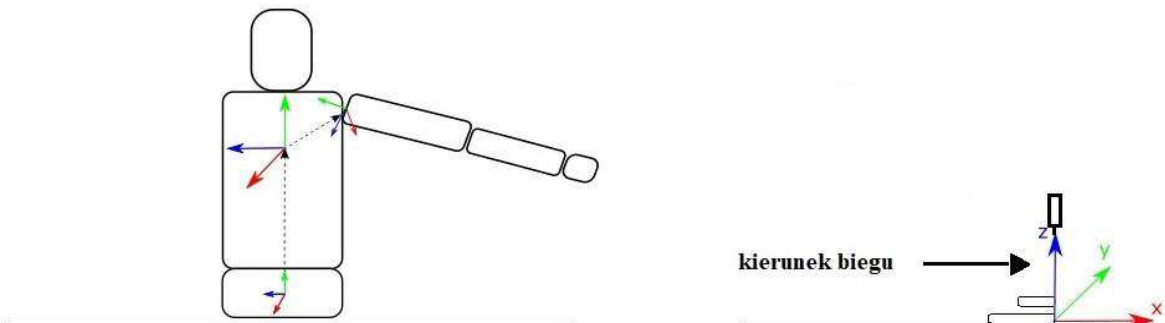


Tabela 10. Zestawienie stawów modelu z odpowiadającymi im stopniami swobody (Krzeszowski 2013).

| Nazwa segmentu    | Liczba stopni swobody |  |
|-------------------|-----------------------|--|
| Biodro            | 6                     | $\tau_x, \tau_y, \tau_z, \theta_x, \theta_y, \theta_z$ |
| Tułów*            | 1                     | $\theta_z$   |
| Głowa             | 1                     | $\theta_z$   |
| Prawe ramię*      | 3                     | $\theta_x, \theta_y, \theta_z$                         |
| Prawe przedramię* | 1                     | $\theta_z$   |
| Lewe ramię*       | 3                     | $\theta_x, \theta_y, \theta_z$                         |
| Lewe przedramię*  | 1                     | $\theta_z$   |
| Prawe udo         | 2                     | $\theta_x, \theta_z$                                   |
| Prawe podudzie    | 2                     | $\theta_x, \theta_z$                                   |
| Lewe udo          | 2                     | $\theta_x, \theta_z$                                   |
| Lewe podudzie     | 2                     | $\theta_x, \theta_z$                                   |
| Suma:             | 24 stopni swobody     |  |

\* segmenty, na których skupiono główną uwagę w powyższej dysertacji.

Rotacja dla danego stawu jest zapisana w postaci trzech kątów, natomiast translacja jest wyrażana w milimetrach. Ograniczenie przestrzeni dla modelu postaci ludzkiej odbywa się poprzez wyzerowanie odpowiednich elementów, np. przedramię może wykonywać rotację jedynie wokół osi  $z$ , a rotacja wokół osi  $x$  i  $y$  jest wyzerowana. Sposób realizacji przekształceń geometrycznych w hierarchicznej strukturze modelu postaci ludzkiej przedstawia rycina 16. Każdy z elementów tego modelu posiada lokalny układ współrzędnych, którego położenie zależy od przekształceń geometrycznych wykonanych dla elementów nadrzędnych danej struktury. Przykładowo, jeśli wykonany został ruch tułowia, to ma on również wpływ na położenie elementów podrzędnych w strukturze, tzn. kończyn górnych i głowy (rycina 16).



Rycina 16. Realizacja przekształceń geometrycznych w strukturze 3D.

### 5.3. Metody statystyczne

Badane zmienne przedstawiono w formie tabel oraz wykresów. Dla każdej zmiennej sprawdzono zgodność z rozkładem normalnym z wykorzystaniem testu Shapiro-Wilka. Brak zgodności z rozkładem normalnym wśród analizowanych zmiennych spowodował, że wszystkie stosowane testy statystyczne były testami nieparametrycznymi. Każdą zmienną opisano za pomocą podstawowych miar statystycznych tj. średniej arytmetycznej oraz odchylenia standardowego. W niektórych przypadkach stosowano również medianę, współczynnik rozproszenia oraz wartości minimalne i maksymalne. Do analizy różnic pomiędzy poszczególnymi próbami zastosowano test Wilcoxon'a dla danych sparowanych (zależnych). W przypadku porównania parametrów marszu w obrębie jednej próby w trzech momentach zastosowano test MANOVA (nieparametryczny odpowiednik analizy wariancji). Analiza porównawcza prędkości liniowych kończyny dominującej i ustępującej wykonana została z wykorzystaniem testu U-Manna Whitney'a. W przypadku analizy porównawczej techniki pokonywania płotka wśród grup o zróżnicowanym poziomie przygotowania technicznego zastosowano test niezależności chi-kwadrat.

Za istotne statystycznie uznano wyniki z prawdopodobieństwem testowym  $p < 0.05$ . Analizy statystycznej dokonano przy użyciu środowiska GNUR wraz z dodatkowymi pakietami.

## 6. Wyniki

### 6.1. Ruchy kończyn górnych w czasie pokonania płotka w grupach o różnym poziomie zaawansowania - analiza fotograficzna.

Problem techniki ruchu kończyn górnych w czasie pokonania płotków na dystansach 110 metrów – 400 metrów przez płotki nie był obszernie poruszany w analizach empirycznych. Z punktu widzenia dociekań naukowych podjęcie tego tematu wydaje się inspirujące, jednakże brak odnośników zmusza do wstępnej analizy. Takie działanie może wskazywać najbardziej istotne fragmenty złożonego ruchu i przedstawia punkt odniesienia do empirycznych rozważań. Pierwsze analizy tego typu dotyczą metody fotograficznej (Bedini 1988, Erdman 2006).

Tabela 11. Różnice międzygrupowe techniki ruchu kończyny górnej „atakującej” w czasie kroku płotkowego [%].

| Ramię                               | ATAKUJĄCE                |      |       |      |       |      |
|-------------------------------------|--------------------------|------|-------|------|-------|------|
| Płaszczyzna                         | STRZAŁKOWA               |      |       |      |       |      |
| Moment                              | M2                       |      | M3    |      | M4    |      |
| p                                   | 0,639                    |      | 0,047 |      | 0,238 |      |
| Grupa                               | PŁ                       | S    | PŁ    | S    | PŁ    | S    |
| ↑ powyżej osi stawu ramiennego      | 29                       | 28   | 3     | 0    | 6     | 0    |
| ↔ położenie na osi stawu ramiennego | 66                       | 71,1 | 37    | 63   | 37    | 35   |
| ↓ poniżej osi stawu ramiennego      | 6                        | 0    | 60    | 37   | 57    | 65   |
| Zmienna                             | ZGIĘCIE STAWU ŁOKCIOWEGO |      |       |      |       |      |
| Moment                              | M2                       |      | M3    |      | M4    |      |
| p                                   | 0,001                    |      | 0,001 |      | 0,001 |      |
| Grupa                               | PŁ                       | S    | PŁ    | S    | PŁ    | S    |
| Wyprost                             | 0                        | 6,5  | 17    | 52,2 | 9     | 58,7 |
| Kąt rozwarty                        | 23                       | 71,5 | 71    | 47,8 | 83    | 41,3 |
| Kąt ostry                           | 77                       | 21,7 | 11    | 0    | 9     | 0    |
| Zmienna                             | RUCH W STAWIE RAMIENNYM  |      |       |      |       |      |
| Moment                              | M2                       |      | M3    |      | M4    |      |
| p                                   | 0,725                    |      | 0,887 |      | 0,004 |      |
| Grupa                               | PŁ                       | S    | PŁ    | S    | PŁ    | S    |
| Zginanie                            | 97                       | 95,7 | 43    | 41,3 | 0     | 6,5  |
| Zginanie i odwodzenie skośnie       | 3                        | 4,3  | 57    | 58,7 | 0     | 6,5  |
| Odwodzenie                          | 0                        | 0    | 0     | 0    | 17    | 4,3  |
| Prostowanie i odwodzenie skośnie    | 0                        | 0    | 0     | 0    | 71    | 34,8 |
| Prostowanie                         | 0                        | 0    | 0     | 0    | 11    | 47,8 |

Legenda: PŁ- Płotkarze, S – Studenci, M2- moment odbicia, M3- moment nad płotkiem, M4- Moment lądowania, p- prawdopodobieństwo testu chi-kwadrat.

**Kończyna górna „atakująca”**



### Moment odbicia (M2)

Nie wykazano istotnych statystycznie różnic dla atakującej kończyny górnej podczas ruchu w stawie ramiennym oraz płaszczyźnie strzałkowej (odpowiednio  $p=0,725$ ,  $p=0,639$ ; tabela 11). Największa liczba badanych ustawiała ramię kończyny na osi stawu ramiennego (odpowiednio Pł: 66% i S:71,1 %). Natomiast niespełna 30% badanych osób w każdej grupie ustawiało kończynę górną powyżej osi stawu ramiennego. W przypadku ruchu w stawie ramiennym zarówno płotkarze jak i studenci podczas atakowania płotka wykonują zgięcie w stawie ramiennym.

Analiza wyników zgięcia stawu łokciowego w momencie odbicia, okazała się być istotna statystycznie ( $p = 0,001$ ; tabela 11). Wśród płotkarzy wyniki rozkładały się pomiędzy kątem ostrym w stawie łokciowym (77%), a kątem rozwartym (23%). W przypadku studentów wychowania fizycznego obserwuje się odwrotny charakter (kąt rozwarty stanowił 71,7%, kąt ostry 21,7%).

### Moment pozycji „nad płotkiem” (M3)

W analizowanych wynikach wykazano statystycznie istotne różnice dla dwóch analizowanych zmiennych w M3. Zaobserwowano statystycznie istotne różnice w sposobie ułożenia atakującej kończyny górnej względem płaszczyzny strzałkowej ( $p = 0,047$ ; tabela 11). Większość płotkarzy (60%) kierowało kończynę poniżej osi stawu ramiennego, znacznie częściej (o 23 %) niż w przypadku grupy studentów, wśród których dominowało położenie kończyny na osi stawu ramiennego (63%). Analiza porównawcza badanych grup wykazała również statystycznie istotne różnice w zgięciu stawu łokciowego na poziomie  $p \leq 0,001$  (tabela 11). Od momentu odbicia wśród płotkarzy, obserwuje się tendencję do prostowania stawu łokciowego, wyniku tego ruchu 71% zawodników przyjmowało kąt rozwarty w pozycji „nad płotkiem”. Podobny przebieg ruchu zauważono wśród studentów, większość charakteryzowała się brakiem zgięcia w stawie łokciowym (52,2%).

Uwzględniając ruch w stawie ramiennym, nie wykazano statystycznie istotnych różnic dla obu grup ( $p=0,887$ ). Zarówno płotkarze jak i studenci podczas atakowania płotka w M3 wykonują zgięcie i odwodzenie skośne (odpowiednio: Pł: 57% oraz S:58,7%).

#### Moment lądowania (M4)

Nie wykazano statystycznie istotnych różnic w ruchu atakującej kończyny górnej na płaszczyźnie strzałkowej ( $p = 0,238$ ; tabela 11). Ponad 50% badanych w każdej grupie kieruje kończynę poniżej osi stawu ramiennego (odpowiednio: PŁ: 57% i S: 65%).

W przypadku pozostałych dwóch zmiennych, zaobserwowano statystycznie istotne różnice w technice ruchu atakującej kończyny górnej. Analiza zgięcia stawu łokciowego w M4 okazała się być istotna statystycznie ( $p = 0,001$ ). Kąt zgięcia stawu łokciowego wśród płotkarzy był rozwarty i stanowił 83% grupy, co w przypadku studentów stanowiło tylko połowę grupy (41,3%). W momencie lądowania zaobserwowano, iż coraz większy procent studentów dalszym ciągu prostuje staw łokciowy (58,7%). Obserwacja ruchu w stawie ramiennym w M4 wykazała ponownie statystycznie istotne różnice wśród badanych ( $p = 0,004$ ). Zauważa się duże zróżnicowanie dla wykonywanego ruchu w grupie studentów oraz ujednolicony ruch wśród płotkarzy, którzy prostowali i odwodzili skośnie ramię (71%).

#### **Kończyna górna „zakroczna”**

#### Moment odbicia (M2)

Nie wykazano statystycznie istotnych różnic w położeniu zakrocznej kończyny górnej podczas ruchu w stawie ramiennym oraz na płaszczyźnie strzałkowej w M2 ( $p = 0,375$ ,  $p = 0,582$ ; tabela 12). Większość płotkarzy kierowało ramię poniżej osi stawu (94%); równocześnie to samo ustawienie preferowało 83% studentów. Zarówno płotkarze jak i studenci podczas atakowania płotka odwodzą kończynę górną skośnie w tył (odpowiednio PŁ: 63% oraz S: 74%) oraz wyraźnie w bok (odpowiednio PŁ: 26% oraz S: 15,2%).

Dalsza analiza wykazała statystycznie istotne różnice w zgięciu stawu łokciowego zakrocznej kończyny górnej ( $p = 0,05$ ; tabela 12). Kąt rozwarty przyjmuje ponad połowa badanych w obu grupach (odpowiednio: PŁ: 63% i S: 56,5%). Równocześnie w grupie studentów obserwuje się brak zgięcia w stawie łokciowym (43,5%), co w grupie płotkarzy stanowi zaledwie 17%. Tylko w grupie płotkarzy obserwuje się kąt ostry w zgięciu stawu łokciowego w momencie odbicia (20%).

Tabela 12. Różnice międzygrupowe techniki ruchu kończyny górnej zakroczonej w czasie kroku płotkowego [%].

| Ramię                               | ZAKROCZNE                |      |       |      |       |      |
|-------------------------------------|--------------------------|------|-------|------|-------|------|
| Płaszczyzna                         | STRZAŁKOWA               |      |       |      |       |      |
| Moment                              | M2                       |      | M3    |      | M4    |      |
| p                                   | 0,582                    |      | 0,538 |      | 0,001 |      |
| Grupa                               | PŁ                       | S    | PŁ    | S    | PŁ    | S    |
| ↑ powyżej osi stawu ramiennego      | 0                        | 2    | 6     | 9    | 0     | 15   |
| ↔ położenie na osi stawu ramiennego | 6                        | 15   | 37    | 33   | 6     | 41   |
| ↓ poniżej osi stawu ramiennego      | 94                       | 83   | 57    | 59   | 94    | 43   |
|                                     | ZGIĘCIE STAWU ŁOKCIOWEGO |      |       |      |       |      |
| Zmienna                             | M2                       |      | M3    |      | M4    |      |
| Moment                              | 0,05                     |      | 0,001 |      | 0,001 |      |
| p                                   | 0,05                     |      | 0,001 |      | 0,001 |      |
| Grupa                               | PŁ                       | S    | PŁ    | S    | PŁ    | S    |
| Wyprost                             | 17                       | 43,5 | 0     | 58,7 | 0     | 28,3 |
| Kąt rozwarty                        | 63                       | 56,5 | 69    | 41,3 | 80    | 71,7 |
| Kąt ostry                           | 20                       | 0    | 31    | 0    | 20    | 0    |
|                                     | RUCH W STAWIE RAMIENNYM  |      |       |      |       |      |
| Zmienna                             | M2                       |      | M3    |      | M4    |      |
| Moment                              | 0,375                    |      | 0,459 |      | 0,001 |      |
| p                                   | 0,375                    |      | 0,459 |      | 0,001 |      |
| Grupa                               | PŁ                       | S    | PŁ    | S    | PŁ    | S    |
| Zginanie                            | 0                        | 0    | 0     | 0    | 34    | 28,3 |
| Zginanie i odwodzenie skośnie       | 0                        | 4,3  | 0     | 0    | 0     | 52,2 |
| Odwodzenie                          | 26                       | 15,2 | 29    | 28,3 | 60    | 19,6 |
| Prostowanie i odwodzenie skośnie    | 63                       | 73,9 | 46    | 56,5 | 6     | 0    |
| Prostowanie                         | 11                       | 6,5  | 25    | 15,2 | 0     | 0    |

Legenda: PŁ- Płotkarze, S – Studenci, M2- moment odbicia, M3- moment nad płotkiem, M4- Moment lądowania, p - prawdopodobieństwo testu chi-kwadrat

#### Moment pozycji „nad płotkiem” (M3)

Tak samo jak w poprzednim momencie, przeprowadzona analiza nie wykazała statystycznie istotnych różnic dla położenia kończyny zakroczonej podczas ruchu w stawie ramiennym oraz na płaszczyźnie strzałkowej ( $p= 0,459$ ,  $p= 0,538$ ; tabela 12). Ponad połowa badanych osób kierowała kończynę górną poniżej osi stawu ramiennego (odpowiednio PŁ: 57% i S:59%) oraz obie grupy charakteryzował ruch prostowania i odwodzenia zakroczonej kończyny w stawie ramiennym (odpowiednio PŁ: 46 % oraz S: 56,5 %).

Analiza porównawcza badanych grup wykazała występowanie istotnych statystycznie różnic w zgięciu stawu łokciowego na poziomie  $p \leq 0,001$  (tabela 12). W grupie studentów otrzymane wyniki rozkładały się pomiędzy brakiem zgięcia w stawie łokciowym (58,7%), a kątem rozwartym (41,3%). Następnie ponownie zaobserwowano, iż ponad 60% płotkarzy przyjmuje kąt rozwarty w stawie łokciowym zakroczonej kończyny górnej.

#### Moment lądowania (M4)

W analizowanych wynikach wykazano statystycznie istotne różnice między badanymi grupami na poziomie  $p \leq 0,001$  (tabela 12). Różnice dotyczyły wszystkich rozpatrywanych zmiennych. W przypadku ruchu na płaszczyźnie strzałkowej, badane osoby najczęściej ustawiały ramię kończyny zakroczonej poniżej osi stawu ramiennego. Wśród płotkarzy ten wariant ustawienia kończyny górnej dominował w 94%, a w grupie porównawczej stanowił tylko 43% badanych.

Kąt zgięcia stawu łokciowego wśród płotkarzy był rozarty i stanowił 80% tej grupy, przy czym to samo ustawienie preferowało 71,7% studentów. Wśród studentów ponownie zaobserwowano wyprost stawu łokciowego, jednakże to ustawienie stanowiło już niespełna 30% grupy.

Obserwacja ruchu w stawie ramiennym dla zakroczonej kończyny górnej w M4 wykazała, iż większość płotkarzy (60%) odwodziło kończynę górną, jest to zdecydowanie więcej (o 40,4 %) niż w przypadku grupy studentów. Najwięcej badanych studentów wykonywało zgięcie i odwodzenie skośne (52,2%) oraz zgięcie w stawie ramiennym (28,3%).

#### **6.2. Parametry kinematyczne kończyn górnych podczas pokonania płotka w czasie ćwiczeń specjalnych- marsz przez płotki.**

W tabeli 13 przedstawiono prędkości liniowe dla segmentów atakującej kończyny górnej podczas marszu przez płotki na dominującą i ujmującą kończynę dolną. Dane dowodzą statystycznie istotnych różnic dla średnich prędkościach liniowych segmentu obręczy barkowej w M2 ( $p = 0,035$ ) oraz M3 ( $p = 0,017$ ). Natomiast w M4 nie wykazano statystycznie istotnych różnic ( $p = 0,779$ ).

W przypadku segmentu ramię atakującej kończyny górnej, istotne statystycznie wyniki wykazano w jednym momencie pokonania płotka. Moment pozycji „nad płotkiem” istotnie różnił badanych płotkarzy ( $p = 0,049$ ; tabela 13). Dla pozostałych momentów nie odnotowano statystycznie istotnych różnic (odpowiednio: M2  $p = 0,262$ , M4  $p = 0,575$ ). Analiza prędkości liniowych wykazała wyższe średnie wartości w przejściu na dominującą kończynę dolną podczas dwóch momentów pokonania płotka (M2 oraz M3).

Niezależnie od wyboru kończyny dolnej w marszu przez płotki nie wykazano statystycznie istotnych różnic w średnich prędkościach liniowych dla segmentu przedramię oraz dłoń atakującej kończyny górnej (tabela 13). Dodatkowo zaobserwowano duże różnice w prędkościach liniowych dla segmentu dłoni pomiędzy marszem przez płotki na dominującą i ujmującą kończynę dolną. Największa różnica została zaobserwowana w M3 i wynosiła 0,6 m/s.

Tabela 13. Prędkości liniowe dla poszczególnych segmentów kończyny górnej atakującej podczas pokonania płotki w marszu (w m/s, n=8).

| Segment                | M  | Kończyna dolna | x   | Me  | min | max | sd  | V    | Różnica | p            |
|------------------------|----|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|---------|--------------|
| <b>Ob ręcz barkowa</b> | M2 | Dominująca     | 0,9 | 1,0 | 0,0 | 1,8 | 0,6 | 66,1 | 0,2     | <b>0,035</b> |
|                        |    | Ujmująca       | 0,7 | 0,6 | 0,0 | 1,8 | 0,6 | 79,7 |         |              |
|                        | M3 | Dominująca     | 1,2 | 1,3 | 0,4 | 1,9 | 0,6 | 48,6 | 0,2     | <b>0,017</b> |
|                        |    | Ujmująca       | 1,0 | 1,2 | 0,0 | 1,8 | 0,6 | 59,2 |         |              |
|                        | M4 | Dominująca     | 1,2 | 1,4 | 0,4 | 1,9 | 0,5 | 43,7 | 0,1     | 0,779        |
|                        |    | Ujmująca       | 1,3 | 1,3 | 0,0 | 2,6 | 0,8 | 64,9 |         |              |
| <b>Ramię</b>           | M2 | Dominująca     | 1,0 | 0,9 | 0,0 | 2,3 | 0,9 | 83,7 | 0,1     | 0,262        |
|                        |    | Ujmująca       | 0,9 | 0,8 | 0,0 | 2,4 | 0,8 | 91,4 |         |              |
|                        | M3 | Dominująca     | 1,0 | 0,9 | 0,2 | 1,5 | 0,4 | 42,8 | 0,2     | <b>0,049</b> |
|                        |    | Ujmująca       | 0,8 | 0,9 | 0,0 | 1,4 | 0,5 | 57,5 |         |              |
|                        | M4 | Dominująca     | 0,9 | 0,9 | 0,2 | 1,8 | 0,5 | 54,7 | 0,1     | 0,575        |
|                        |    | Ujmująca       | 1,0 | 0,8 | 0,0 | 2,2 | 0,8 | 73,2 |         |              |
| <b>Przedramię</b>      | M2 | Dominująca     | 1,4 | 1,5 | 0,1 | 3,3 | 1,1 | 79,9 | 0,1     | 0,888        |
|                        |    | Ujmująca       | 1,5 | 1,3 | 0,0 | 4,0 | 1,4 | 93,0 |         |              |
|                        | M3 | Dominująca     | 1,1 | 1,2 | 0,1 | 1,7 | 0,5 | 47,3 | 0,2     | 0,068        |
|                        |    | Ujmująca       | 0,9 | 0,8 | 0,0 | 1,8 | 0,6 | 71,9 |         |              |
|                        | M4 | Dominująca     | 1,1 | 1,2 | 0,1 | 2,3 | 0,7 | 65,8 | 0       | 0,575        |
|                        |    | Ujmująca       | 1,1 | 1,2 | 0,0 | 2,4 | 0,8 | 67,0 |         |              |
| <b>Dłoń</b>            | M2 | Dominująca     | 1,9 | 1,8 | 0,1 | 4,9 | 1,7 | 90,0 | 0,3     | 0,575        |
|                        |    | Ujmująca       | 2,2 | 1,7 | 0,0 | 6,0 | 2,1 | 98,9 |         |              |
|                        | M3 | Dominująca     | 2,1 | 2,0 | 0,1 | 3,8 | 1,4 | 67,5 | 0,6     | 0,123        |
|                        |    | Ujmująca       | 1,5 | 1,3 | 0,0 | 4,1 | 1,4 | 92,9 |         |              |
|                        | M4 | Dominująca     | 2,0 | 2,1 | 0,3 | 3,3 | 1,1 | 56,9 | 0,2     | 0,161        |
|                        |    | Ujmująca       | 1,8 | 2,2 | 0,0 | 4,2 | 1,4 | 77,9 |         |              |

Legenda: M- Moment pokonania płotki, x – średnia, Me – Mediana, min - minimum, max- maksimum, sd – odchylenie standardowe, V – współczynnik zmienności, Różnica- różnica prędkości liniowej atakującej kończyny górnej, p – prawdopodobieństwo testu U Manna-Whitney’a.

W dalszej kolejności analizowano przebieg ruchu dla segmentów kończyny górnej zakroczonej podczas marszu przez płotki (tabela 14).

Tabela 14. Prędkości liniowe dla poszczególnych segmentów kończyny górnej zakroczonej podczas pokonania płotka w marszu (w m/s; n=8).

| Segment        | M  | Kończyna dolna | x   | Me  | min | max | sd  | V     | Różnica | p     |
|----------------|----|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|---------|-------|
| Obręcz barkowa | M2 | Dominująca     | 0,8 | 0,9 | 0,1 | 1,5 | 0,5 | 65,6  | 0,1     | 0,068 |
|                |    | Ujmująca       | 0,7 | 0,7 | 0,0 | 1,4 | 0,4 | 64,7  |         |       |
|                | M3 | Dominująca     | 1,4 | 1,4 | 0,4 | 2,2 | 0,8 | 57,9  | 0,2     | 0,068 |
|                |    | Ujmująca       | 1,2 | 1,2 | 0,0 | 2,1 | 0,7 | 63,7  |         |       |
|                | M4 | Dominująca     | 1,4 | 1,5 | 0,5 | 2,2 | 0,7 | 51,9  | 0       | 0,674 |
|                |    | Ujmująca       | 1,4 | 1,6 | 0,0 | 3,0 | 0,9 | 65,2  |         |       |
| Ramię          | M2 | Dominująca     | 0,6 | 0,4 | 0,1 | 2,3 | 0,7 | 109,5 | 0,1     | 0,575 |
|                |    | Ujmująca       | 0,5 | 0,6 | 0,0 | 1,1 | 0,3 | 63,6  |         |       |
|                | M3 | Dominująca     | 1,6 | 1,6 | 0,4 | 2,8 | 1,1 | 71,8  | 0,2     | 0,483 |
|                |    | Ujmująca       | 1,4 | 1,3 | 0,0 | 2,9 | 1,0 | 74,7  |         |       |
|                | M4 | Dominująca     | 1,7 | 1,9 | 0,4 | 3,0 | 1,2 | 69,0  | 0       | 0,888 |
|                |    | Ujmująca       | 1,7 | 1,9 | 0,0 | 3,4 | 1,2 | 66,3  |         |       |
| Przedramię     | M2 | Dominująca     | 1,0 | 0,6 | 0,0 | 3,4 | 1,1 | 111,8 | 0,1     | 0,483 |
|                |    | Ujmująca       | 1,1 | 1,0 | 0,0 | 2,2 | 0,8 | 73,6  |         |       |
|                | M3 | Dominująca     | 1,9 | 1,8 | 0,2 | 3,7 | 1,3 | 70,2  | 0,1     | 0,483 |
|                |    | Ujmująca       | 1,8 | 1,5 | 0,0 | 4,0 | 1,3 | 72,9  |         |       |
|                | M4 | Dominująca     | 2,2 | 2,1 | 0,3 | 4,1 | 1,6 | 70,6  | 0,1     | 0,888 |
|                |    | Ujmująca       | 2,3 | 2,8 | 0,0 | 4,0 | 1,5 | 64,0  |         |       |
| Dłoń           | M2 | Dominująca     | 1,6 | 1,0 | 0,1 | 4,6 | 1,5 | 96,9  | 0,1     | 0,575 |
|                |    | Ujmująca       | 1,7 | 1,4 | 0,0 | 3,7 | 1,3 | 77,8  |         |       |
|                | M3 | Dominująca     | 2,3 | 2,5 | 0,2 | 4,4 | 1,5 | 66,2  | 0       | 0,674 |
|                |    | Ujmująca       | 2,3 | 2,2 | 0,0 | 5,0 | 1,6 | 69,3  |         |       |
|                | M4 | Dominująca     | 2,8 | 3,2 | 0,3 | 4,9 | 1,7 | 60,7  | 0,1     | 0,674 |
|                |    | Ujmująca       | 2,9 | 3,7 | 0,0 | 4,8 | 1,9 | 65,0  |         |       |

Legenda: M- Moment pokonania płotka, x – średnia, Me – Mediana, min - minimum, max- maksimum, sd – odchylenie standardowe, V – współczynnik zmienności, Różnica- różnica prędkości liniowej zakroczonej kończyny górnej, p – prawdopodobieństwo testu U Manna-Whitney'a.

Dane nie wykazały statystycznie istotnych różnic w średnich prędkościach liniowych dla segmentu obręczy barkowej kończyny górnej zakroczonej. Prędkości liniowe w przejściu dominującą kończyną dolną były wyższe w każdym momencie pokonania płotka, z wyjątkiem

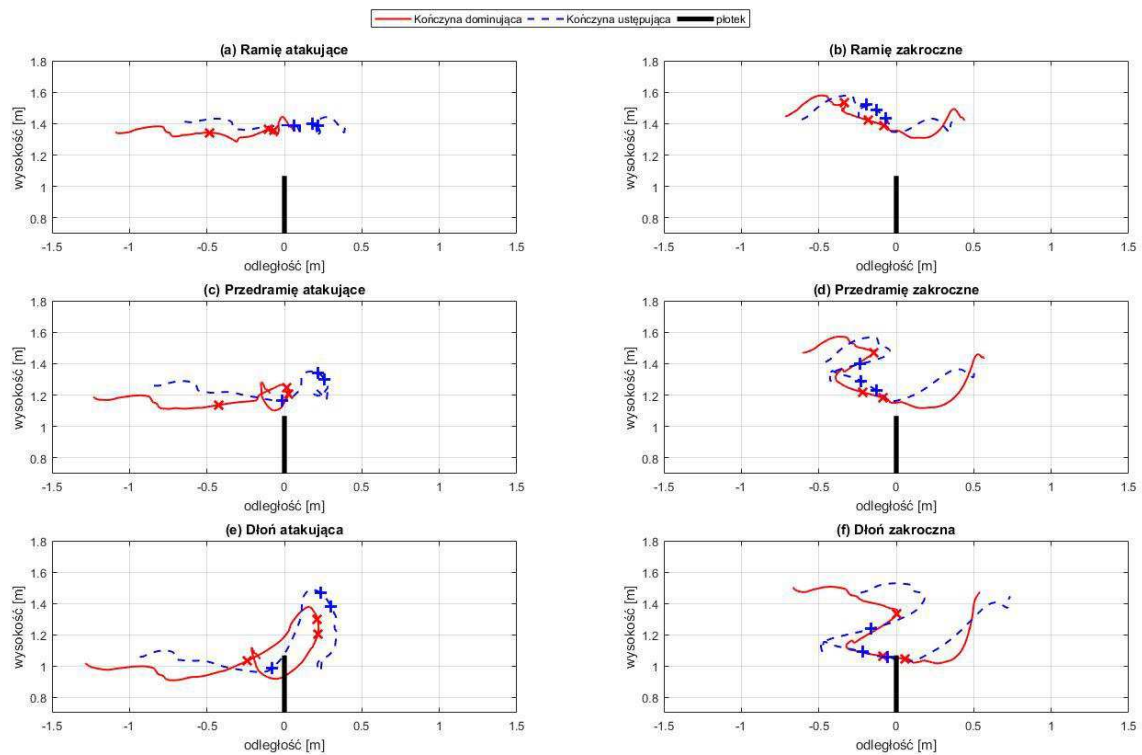
M4, w którym prędkości były takie same bez względu na wybór kończyny dolnej atakującej płotek.

W przypadku ramienia kończyny górnej zakroczonej, średnia prędkości liniowych nie różniła się statystycznie podczas pokonania płotka. Analiza prędkości liniowych ponownie wykazała wyższe średnie wartości w przejściu na dominującą kończynę dolną podczas dwóch momentów pokonania płotka (M2 oraz M3).

W marszu przez płotki nie wykazano statystycznie istotnych różnic dla segmentów przedramię i dłoń kończyny górnej zakroczonej (tabela 14). W przypadku tych dwóch segmentów zauważono większe prędkości w analizowanych momentach w próbie na ujmującą kończynę dolną. Jedynie w M3 płotkarze charakteryzowali się taką samą prędkością dla segmentu dłoń kończyny zakroczonej.

Analiza wyników wskazuje wyższe prędkości dla wszystkich segmentów kończyny górnej zakroczonej w M3, podczas pokonania płotków dominującą kończyną dolną. Dodatkowo niezależnie od wyboru kończyny dolnej atakującej płotek zaobserwowano najniższe wyniki w M2, a najwyższe w M4 (tabela 14).

Dla przykładu przedstawiono wykresy trajektorii ruchu, jednego wybranego zawodnika (rycina 16). Analiza przebiegu trajektorii ruchu atakującej kończyny górnej rozpoczynała się i kończyła szybciej w marszu przez płotki na dominującą kończynę dolną. Zauważa się również, iż tor ruchu kończyny górnej atakujące jest niższy w przejściu na dominującą kończynę dolną. Wyjątek stanowił moment M2 dla segmentu dłoni (rycina 17). W przypadku zakroczonej kończyny górnej przebieg trajektorii ruchu w przejściu na obie kończyny dolne atakujące płotek jest zbliżony. Jednocześnie zauważa się, że poszczególne momenty pokonania płotka zarówno na dominującą jak i ujmującą kończynę dolną wystąpiły w podobnej odległości od płotka. Wyjątek stanowią odległości poszczególnych momentów dla segmentu dłoni kończyny zakroczonej. Dodatkowo zaobserwowano, iż w momencie M2 trajektoria ruchu zakroczonej kończyny górnej była najwyższa w przejściu na dominującą kończynę dolną.



Rycina 17. Trajektoria ruchu kończyn górnych w marszu przez płotki dla zawodnika specjalizującego się w biegu na 400 m ppł (indywidualny przykład).



### 6.3. Zmienne przestrzenne kończyn górnych podczas pokonania płotka w aspekcie czterech wariantów biegu przez płotki.

Tabela 15. Objaśnienie skrótów i terminów używanych w tym rozdziale.

| Wariant biegu | Biegi przez płotki | Kończyna dolna atakująca płotek | Charakterystyka próby   |
|---------------|--------------------|---------------------------------|---|
| Wariant I     | B1 / B2            | Lewa                            | B1: Bieg przez płotki w pełni zdolności do podjęcia wysiłku / B2: Bieg po przerwie 1 minuta |
| Wariant II    | B3 / B4            | Prawa                           | B3: Bieg przez płotki w pełni zdolności do podjęcia wysiłku / B4: Bieg po przerwie 1 minuta |
| Wariant III   | B1 / B3            | Lewa/Prawa                      | B1 i B3: Biegi przez płotki w pełni zdolności do podjęcia wysiłku                           |
| Wariant IV    | B2 / B4            | Lewa/Prawa                      | B2 i B4: Biegi przez płotki po przerwie 1 minuta  |

Legenda: Pokonanie płotka lewą kończyną dolną: B1- Bieg nr 1, B2- Bieg nr 2.

Pokonanie płotka prawą kończyną dolną: B3- Bieg nr 3, B4- Bieg nr 4

#### 6.3.1. Zmiany wartości parametru odległość środka ciężkości podczas pokonania płotka.

W tabeli 16 przedstawiono wyniki analizy wariancji na poziomie istotności statystycznej  $p < 0,05$ . Analiza porównawcza dla czterech wariantów biegu przez płotki nie wykazała istotnych statystycznie różnic dla poniższych zmiennych w grupie płotkarzy. Wyjątek stanowiła zmienna odległość środka ciężkości od płotka w II wariacie biegów podczas M5 ( $p = 0,049$ ; tabela 16).

Tabela 16. Charakterystyki liczbowe parametrów wysokościowych dla czterech biegów przez płotki [mm].

| Zmienna                     | M  | B1         | B2         | B3         | B4         | <i>p (Wilcoxon'a)</i> |        |        |        |
|-----------------------------|----|------------|------------|------------|------------|-----------------------|--------|--------|--------|
|                             |    | L          | L          | P          | P          | I                     | II     | III    | IV     |
|                             |    | $x \pm sd$ | $x \pm sd$ | $x \pm sd$ | $x \pm sd$ | B1 -B2                | B3 -B4 | B1 -B3 | B2 -B4 |
| wys.<br>środka<br>ciężkości | M1 | 956±55     | 958±56     | 949±46     | 957±79     | 0,733                 | 0,969  | 0,677  | 0,622  |
|                             | M2 | 1087±58    | 1108±55    | 1093±65    | 1106±109   | 0,423                 | 0,791  | 0,909  | 0,233  |
|                             | M3 | 1317±58    | 1324±54    | 1330±91    | 1310±80    | 0,733                 | 0,203  | 0,469  | 0,569  |
|                             | M4 | 1109±123   | 1077±74    | 1106±107   | 1078±56    | 0,092                 | 0,622  | 0,850  | 0,969  |
|                             | M5 | 1011±81    | 1002±67    | 1015±63    | 1017±65    | 0,569                 | 0,969  | 0,569  | 0,092  |

Legenda: M - moment pokonania płotka, x- średnia, sd – odchylenie standardowe, p- prawdopodobieństwo Test Wilcoxon'a, L- pokonanie płotka lewą kończyną dolną, P- pokonanie płotka prawą kończyną dolną

Tabela 16. Charakterystyki liczbowe parametrów wysokościowych dla czterech biegów przez płotki [mm].

| Zmienna                                | M  | B1          | B2          | B3          | B4          | <i>p (Wilcoxon'a)</i> |        |        |        |
|--|----|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------|--------|--------|--------|
|  |    | L           | L           | P           | P           | I                     | II     | III    | IV     |
|  |    | <i>x±sd</i> | <i>x±sd</i> | <i>x±sd</i> | <i>x±sd</i> | B1 -B2                | B3 -B4 | B1 -B3 | B2 -B4 |
| wys.<br>środka<br>ciężkości<br>nad pł. | M1 | 80±45       | 82±47       | 73±46       | 81±75       | 0,733                 | 0,969  | 0,677  | 0,622  |
|  | M2 | 211±45      | 231±43      | 217±47      | 230±102     | 0,423                 | 0,791  | 0,909  | 0,233  |
|  | M3 | 441±74      | 449±65      | 454±101     | 434±100     | 0,733                 | 0,203  | 0,469  | 0,569  |
|  | M4 | 233±89      | 200±31      | 230±83      | 202±44      | 0,092                 | 0,622  | 0,850  | 0,969  |
|  | M5 | 135±39      | 127±28      | 139±31      | 141±29      | 0,569                 | 0,969  | 0,569  | 0,092  |
| odl.<br>środka<br>ciężkości<br>do pł.  | M1 | -2131±235   | -2467±317   | -2466±407   | -2422±350   | 0,469                 | 0,518  | 0,518  | 0,733  |
|  | M2 | -1754±445   | -1633±247   | -1665±261   | -1528±474   | 0,469                 | 0,909  | 0,677  | 0,622  |
|  | M3 | -209±609    | -55±46      | 38±468      | -1±415      | 0,969                 | 0,469  | 0,850  | 0,380  |
|  | M4 | 1133±434    | 1208±221    | 1166±487    | 1263±309    | 0,569                 | 0,791  | 0,677  | 0,423  |
|  | M5 | 1722±227    | 1735±243    | 1825±282    | 1339±236    | 0,622                 | 0,049  | 0,469  | 0,850  |

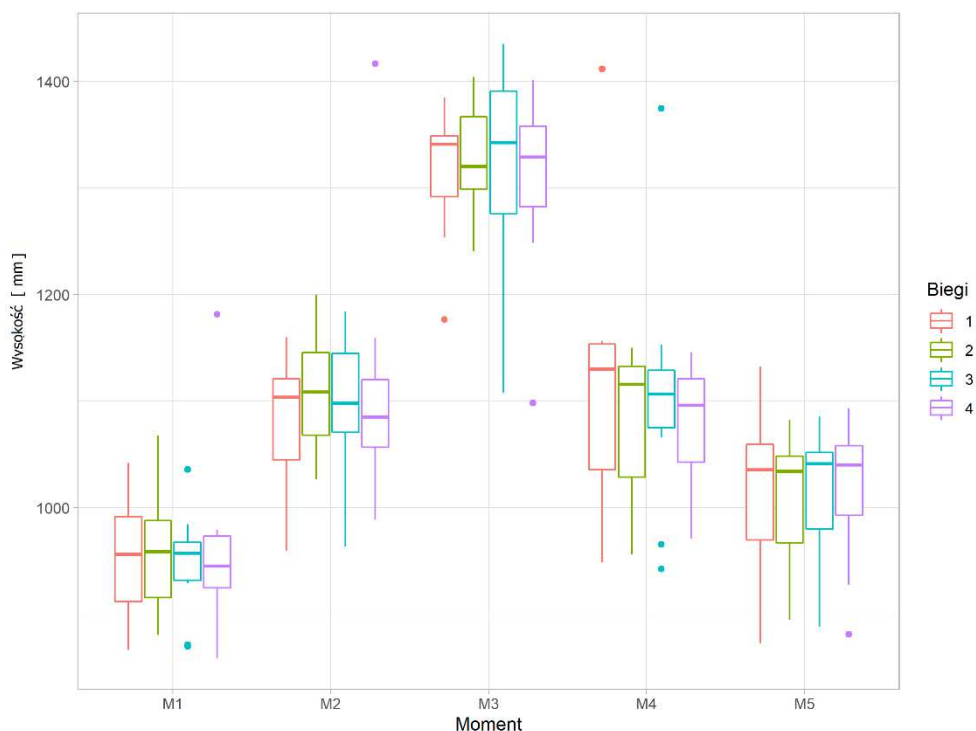
Legenda: M - moment pokonania płotka, x- średnia, sd – odchylenie standardowe, p- prawdopodobieństwo Test Wilcoxon'a, L- pokonanie płotka lewą kończyną dolną, P- pokonanie płotka prawą kończyną dolną

#### Wysokość środka ciężkości do podłoża

Przeprowadzona analiza wykazała, że we wszystkich biegach wysokość środka ciężkości była najniższa w momencie przygotowania do odbicia (M1) i najwyższa w momencie lotu nad płotkiem (M3) (tabela 16, rycina 18). Największe rozproszenie wartości tego parametru dla wszystkich biegów zaobserwowano w momencie lądowania (M4), przy czym wyjątek stanowi druga próba w biegu na prawą kończyną dolną (B4), gdzie największe rozproszenie odnotowano w momencie odbicia (M2). Zaobserwowano również, że podczas pierwszych trzech momentów kroku płotkowego płotkarze wykazują minimalnie wyższe średnie wartości w biegu po jednej minucie przerwy. Przy czym, w kolejnych momentach wyniki przyjmowały już odwrotny charakter.

#### Wysokość środka ciężkości nad płotkiem

Analiza kolejnej zmiennej wykazała podobny rozkład wyników jak wcześniejszy parametr. Zaobserwowano najniższe średnie wartości w momencie przygotowania do odbicia (M1), oraz najwyższe w momencie lotu nad płotkiem (M3) (tabela 16). Największe rozproszenie wyników



Rycina 18. Wykres różnic międzygrupowych dla wysokości środka ciężkości do podłoża.

dla tego parametru odnotowano w momencie lotu (M3), przy czym wartości dla B3 i B4 miały większe rozproszenie niż w B1 i B2. Bez względu na wybór kończyny dolnej atakującej płotek w M1 oraz M2 zawodnicy wykazali niższe średnie wartości w pierwszej próbie biegu w porównaniu z biegiem powtórzonym po 1 minucie przerwy. Odwrotny rozkład wyników zauważono od momentu pozycji „nad płotkiem” (M3) do momentu przygotowania do biegu (M5), w którym omawiany parametr bez względu na wybór kończyny dolnej w biegach w pełni sił do podjęcia próby (B1 i B3) przyjmował wartości wyższe w porównaniu do biegów po 1 minucie przerwy (B2 i B4).

#### Odległość od środka ciężkości do płotka

Analiza wyników wykazała statystycznie istotne różnice w II wariancie biegów przez płotki. Obserwacja dotyczyła biegów na prawą kończynę dolną w momencie przygotowania do biegu (M5;  $p=0,049$ , tabela 16). Następnie zaobserwowano, iż w M2 i M3 podczas biegów na lewą kończynę dolną płotkarze wykazywali większą odległość środka ciężkości do płotka w pierwszej próbie (B1). Tą samą zależność zauważono w M2 dla biegów na prawą kończynę dolną. W M2 i M3 zauważono iż odległość środka ciężkości do płotka była większa w próbach na lewą kończynę dolną atakującą płotek. Odwrotnie było w przypadku kolejnych momentów pokonania płotka.

### 6.3.2. Zmiany wartości parametrów odległość środka ciężkości do poszczególnych segmentów kończyny górnej podczas pokonania płotka.

W dalszej kolejności analiza statystyczna dotyczyła zmiennych odległości zakroczonej kończyny górnej od środka ciężkości ciała (tabela 17). W poniższej tabeli przedstawiono wyniki analizy wariancji na poziomie istotności statystycznej  $p < 0,05$ .

Tabela 17. Charakterystyki liczbowe zmiennych odległościowych poszczególnych segmentów zakroczonej kończyny górnej [mm].

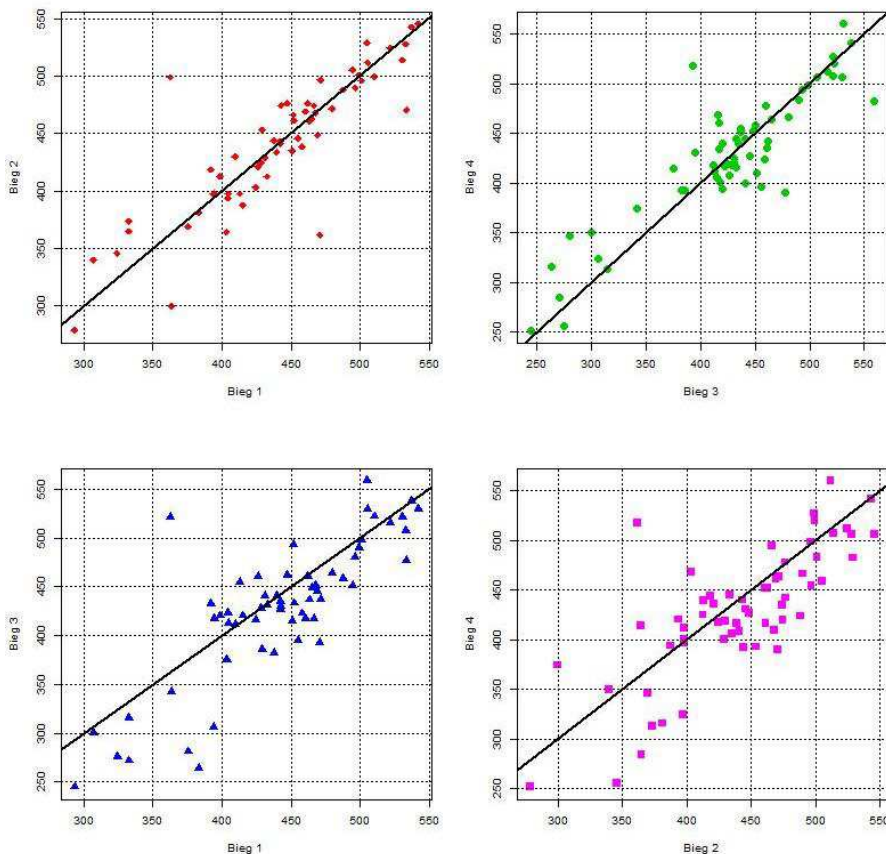
| Zmienna                              | M  | B1         | B2         | B3         | B4         | p (Wilcoxon'a) |         |         |         |
|--------------------------------------|----|------------|------------|------------|------------|----------------|---------|---------|---------|
|                                      |    | L          | L          | P          | P          | I              | II      | III     | IV      |
|                                      |    | $x \pm sd$ | $x \pm sd$ | $x \pm sd$ | $x \pm sd$ | B1 - B2        | B3 - B4 | B1 - B3 | B2 - B4 |
| Odl. środka ciężkości – ramię Z      | M1 | 513±20     | 512±22     | 506±31     | 495±25     | 0,677          | 0,052   | 0,129   | 0,016   |
|                                      | M2 | 430±40     | 421±25     | 429±22     | 421±20     | 0,176          | 0,622   | 0,791   | 0,622   |
|                                      | M3 | 366±51     | 356±36     | 319±62     | 345±74     | 0,677          | 0,077   | 0,004   | 0,423   |
|                                      | M4 | 437±30     | 451±28     | 439±33     | 436±39     | 0,469          | 0,733   | 0,151   | 0,233   |
|                                      | M5 | 460±22     | 466±26     | 444±39     | 446±45     | 0,129          | 0,850   | 0,077   | 0,064   |
| Odl. środka ciężkości – przedramię Z | M1 | 400±32     | 397±42     | 379±48     | 383±69     | 0,791          | 0,622   | 0,042   | 0,301   |
|                                      | M2 | 460±59     | 479±54     | 463±48     | 450±48     | 0,301          | 0,203   | 0,791   | 0,052   |
|                                      | M3 | 502±45     | 505±48     | 481±65     | 494±48     | 1              | 0,969   | 0,518   | 0,266   |
|                                      | M4 | 420±110    | 397±73     | 415±77     | 406±69     | 0,203          | 0,677   | 0,909   | 0,791   |
|                                      | M5 | 347±64     | 329±63     | 348±50     | 359±47     | 0,380          | 0,266   | 0,677   | 0,092   |
| Odl. środka ciężkości – dłoń Z       | M1 | 286±58     | 267±28     | 266±41     | 297±28     | 0,266          | 0,176   | 0,423   | 0,006   |
|                                      | M2 | 411±76     | 393±67     | 403±97     | 389±82     | 0,677          | 0,622   | 0,791   | 0,909   |
|                                      | M3 | 541±130    | 532±111    | 573±110    | 534±145    | 0,518          | 0,077   | 0,518   | 0,969   |
|                                      | M4 | 436±72     | 436±63     | 412±52     | 468±74     | 0,909          | 0,109   | 0,423   | 0,266   |
|                                      | M5 | 467±95     | 440±46     | 441±66     | 432±62     | 0,469          | 0,469   | 0,622   | 0,909   |

Legenda: M - moment pokonania płotka, x- średnia, sd – odchylenie standardowe, p- prawdopodobieństwo Test Wilcoxon'a, L- pokonanie płotka lewą kończyną dolną, P- pokonanie płotka prawą kończyną dolną

#### Odległość środka ciężkości do ramienia kończyny zakroczonej.(odl. środka ciężkości - ramię Z)

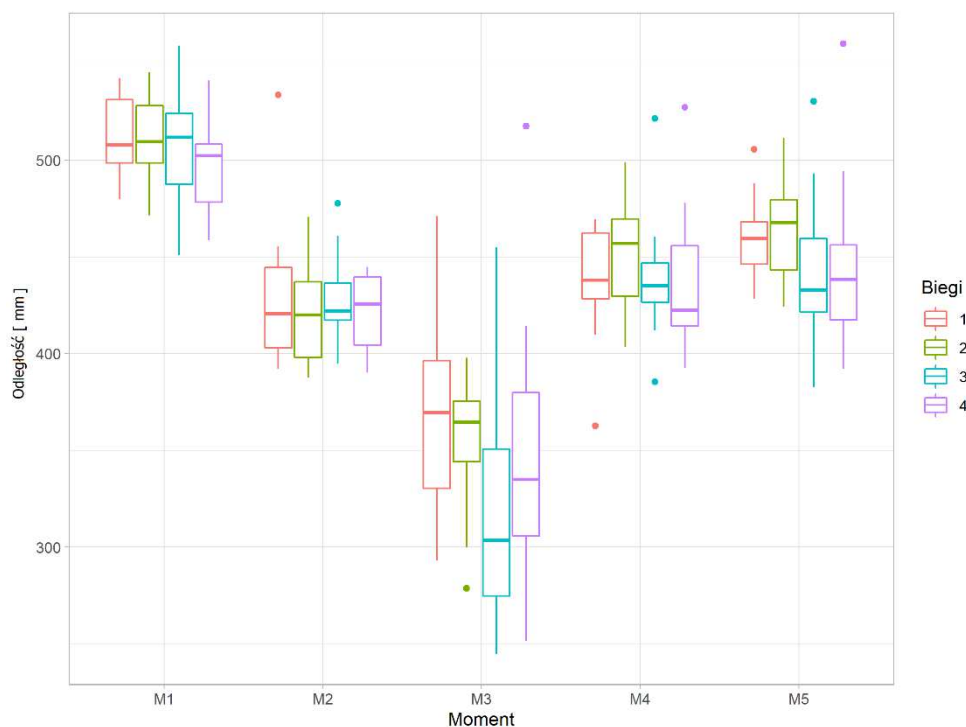
Analiza porównawcza biegów przez płotki wykazała istotne statystycznie różnice w momencie lotu nad płotkiem (M3) w III wariancie biegów ( $p < 0,05$ ) oraz podczas M1 w IV

wariancie biegów przez płotki ( $p = 0,016$ ). Różnice pomiędzy tymi biegami zaobserwowano również na wykresie rozrzutu wartości parametru w poszczególnych biegach (rycina 19). W obu obserwowanych przypadkach pokonania płotka wartości średnie wskazują na większą odległość



Rycina 19. Wykres rozrzutu wartości dla zmiennej odległość środka ciężkości do ramienia kończyny zakroczonej.

ramienia zakroczonego podczas pokonania płotka lewą kończyną dolną. We wszystkich biegach odległość środka ciężkości od ramienia zakroczonego była najniższa w momencie lotu nad płotkiem (M3) i najwyższa w momencie przygotowania do odbicia (M1) (tabela 17, rycina 20). Bez względu na wybór kończyny dolnej atakującej płotek, w pierwszych próbach uzyskano wyższe średnie wyniki, niż w przypadku powtórnego biegu (tabela 17). Oznacza to, że zawodnicy w pełni sił do podjęcia wysiłku wykazywali tendencję do zwiększania odległości ramienia kończyny zakroczonej względem środka ciężkości ciała.



Rycina 20. Wykres różnic międzygrupowych dla odległości środka ciężkości do ramienia zakrocznego.

Odległość środka ciężkości do przedramienia kończyny zakrocznej (Odl. środka ciężkości - przedramię Z)

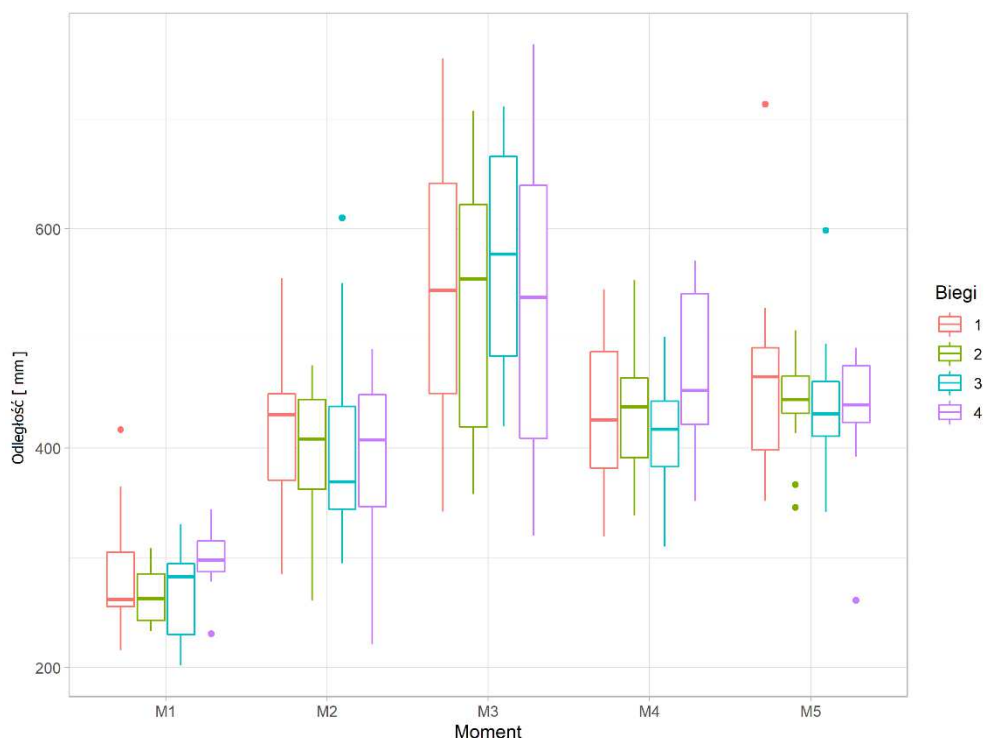
Analiza porównawcza biegów przez płotki wykazała statystycznie istotne różnice powyższego parametru w III wariancie biegów przez płotki dla M1 ( $p = 0,042$ ) (tabela 17). W tym momencie wszyscy płotkarze wykazali wyższe średnie wartości dla biegów na lewą kończynę dolną w porównaniu z przeciwną kończyną dolną. Dodatkowo wyniki badań przyjmowały odwrotny charakter w porównaniu z wynikami dla ramienia zakrocznego. Najniższe średnie wartości zaobserwowano w M5, a najwyższe w M3. Największe rozproszenie wartości tego parametru zaobserwowano w momencie lądowania (M4).

Odległość środka ciężkości do dłoni kończyny zakrocznej.

Analiza porównawcza biegów przez płotki wykazała statystycznie istotne różnice w momencie przygotowania do odbicia (M1) dla IV wariantu ( $p = 0,006$ , tabela 17).

Dalsza analiza ruchu kończyn górnych podczas pokonania płotka wykazała wzrost średnich wartości dla segmentu dłoni kończyny zakrocznej do momentu pozycji „nad płotkiem” (rycina 21; tabela 17). Dodatkowo największe rozproszenie wyników dla powyższej zmiennej odnotowano ponownie w M3. Zawodnicy w pełni sił do podjęcia wysiłku wykazywali tendencję do zwiększenia odległości dłoni kończyny zakrocznej względem środka ciężkości podczas ataku

lewą kończyną dolną. W przypadku prawej kończyny dolnej atakującej płotek nie zaobserwowano takiej zależności.



Rycina 21. Wykres różnic międzygrupowych dla zmiennej odległość środka ciężkości do dłoni kończyny zakroczej.

Dalsza analiza statystyczna dotyczyła zmiennej odległość środka ciężkości do poszczególnych segmentów atakującej kończyny górnej.

Tabela 18. Charakterystyki liczbowe zmiennych odległościowych dla atakującej kończyny górnej [mm].

| Zmienna                         | M  | B1         | B2         | B3         | B4         | <i>p</i> (Wilcoxon'a) |         |         |         |
|---------------------------------|----|------------|------------|------------|------------|-----------------------|---------|---------|---------|
|                                 |    | L          | L          | P          | P          | I                     | II      | III     | IV      |
|                                 |    | $x \pm sd$ | $x \pm sd$ | $x \pm sd$ | $x \pm sd$ | B1 - B2               | B3 - B4 | B1 - B3 | B2 - B4 |
| Odl. środka ciężkości - ramię A | M1 | 489±27     | 496±32     | 509±29     | 501±28     | 0,791                 | 0,052   | 0,003   | 0,909   |
|                                 | M2 | 461±33     | 462±20     | 468±27     | 462±47     | 0,423                 | 0,850   | 0,339   | 0,129   |
|                                 | M3 | 300±75     | 299±27     | 298±50     | 318±64     | 0,339                 | 0,151   | 0,569   | 0,677   |
|                                 | M4 | 410±36     | 430±36     | 413±41     | 423±44     | 0,034                 | 0,909   | 0,469   | 0,423   |
|                                 | M5 | 436±29     | 442±33     | 435±35     | 433±39     | 0,233                 | 0,518   | 0,969   | 0,301   |

Legenda: M - moment pokonania płotka, x- średnia, sd – odchylenie standardowe, p- prawdopodobieństwo Test Wilcoxon'a, L- pokonanie płotka lewą kończyną dolną, P- pokonanie płotka prawą kończyną dolną.



Tabela 18. Charakterystyki liczbowe zmiennych odległościowych dla atakującej kończyny górnej [mm].

| Zmienna                              | M  | B1         | B2         | B3         | B4         | <i>p (Wilcoxon'a)</i> |         |         |         |
|--------------------------------------|----|------------|------------|------------|------------|-----------------------|---------|---------|---------|
|                                      |    | L          | L          | P          | P          | I                     | II      | III     | IV      |
|                                      |    | $x \pm sd$ | $x \pm sd$ | $x \pm sd$ | $x \pm sd$ | B1 - B2               | B3 - B4 | B1 - B3 | B2 - B4 |
| Odl. środka ciężkości – przedramię A | M1 | 445±50     | 426±48     | 418±58     | 433±38     | 0,092                 | 0,176   | 0,203   | 0,909   |
|                                      | M2 | 462±48     | 494±52     | 498±51     | 477±83     | 0,006                 | 0,301   | 0,151   | 0,469   |
|                                      | M3 | 384±68     | 387±29     | 411±51     | 402±38     | 0,423                 | 0,969   | 0,266   | 0,423   |
|                                      | M4 | 501±63     | 531±51     | 536±69     | 549±56     | 0,026                 | 0,569   | 0,042   | 0,266   |
|                                      | M5 | 523±38     | 525±37     | 533±30     | 535±28     | 0,909                 | 0,569   | 0,469   | 0,301   |
|                                      |    |            |            |            |            |                       |         |         |         |
| Odl. środka ciężkości – dłoń A       | M1 | 390±99     | 392±76     | 362±54     | 401±98     | 0,909                 | 0,380   | 0,233   | 0,677   |
|                                      | M2 | 575±98     | 580±70     | 540±68     | 559±79     | 0,969                 | 0,301   | 0,129   | 0,423   |
|                                      | M3 | 578±65     | 564±69     | 580±87     | 572±84     | 0,909                 | 1       | 1       | 0,733   |
|                                      | M4 | 593±79     | 555±81     | 561±95     | 557±84     | 0,151                 | 1       | 0,569   | 0,733   |
|                                      | M5 | 496±92     | 459±98     | 483±85     | 498±82     | 0,064                 | 0,622   | 0,569   | 0,233   |

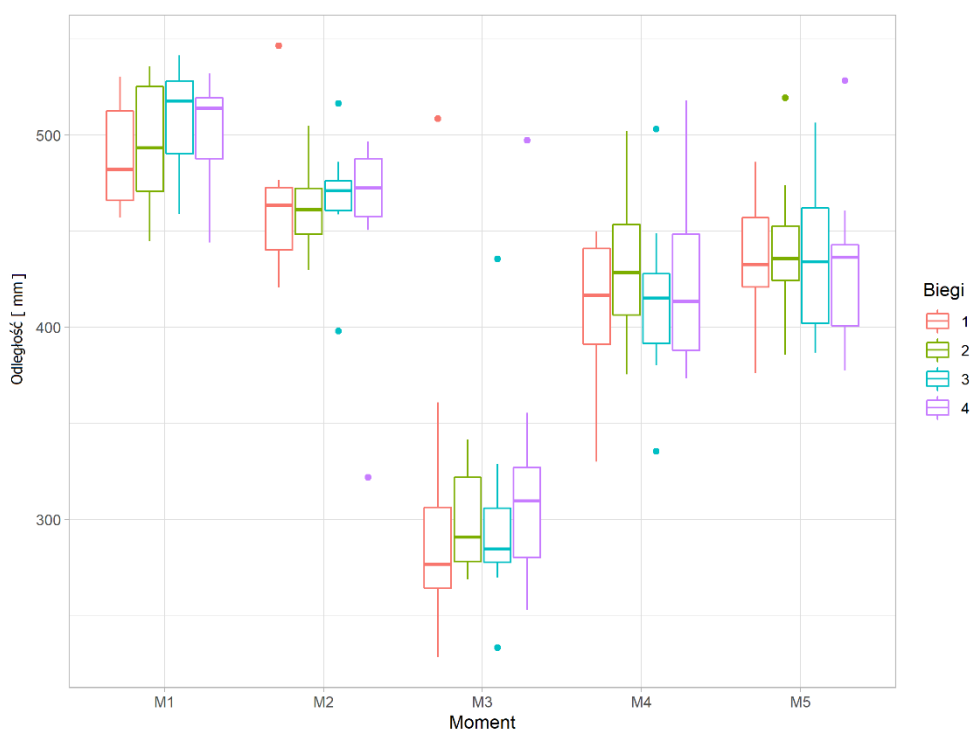
Legenda: M - moment pokonania płotka, x- średnia, sd – odchylenie standardowe, p- prawdopodobieństwo Test Wilcoxon'a, L- pokonanie płotka lewą kończyną dolną, P- pokonanie płotka prawą kończyną dolną

#### Odległość środka ciężkości do ramienia kończyny atakującej. (Odl. środka ciężkości- ramię A)

Analiza porównawcza poszczególnych biegów wykazała statystycznie istotne różnice w M1 dla III wariantu biegów przez płotki ( $p = 0,003$ , tabela 18). W próbie na prawa kończynę dolną ramię atakujące było dalej wysunięte od środka ciężkości ciała w momencie przygotowania do odbicia niż podczas ataku na przeciwną kończynę dolną. Statystycznie istotne różnice wykazano również w M4, pomiędzy biegami w I wariacie ( $p = 0,034$ ). Różnica dotyczyła zwiększonej odległości (średnio o 20mm) podczas drugiej próby na lewą kończynę dolną.

Dodatkowo we wszystkich biegach przeprowadzona analiza wykazała, iż płotkarze uzyskali najniższe średnie wartości w M3 (odpowiednio od  $298 \text{ mm} \pm 50 \text{ mm}$  do  $318 \text{ mm} \pm 64 \text{ mm}$ ) oraz najwyższe w M1 (odpowiednio od  $489 \text{ mm} \pm 27 \text{ mm}$  do  $509 \text{ mm} \pm 29 \text{ mm}$ ) (tabela 18, rycina 22). Dodatkowo bez względu na wybór kończyny dolnej dla większości momentów pokonania płotka zauważono wyższe średnie wartości w biegach po 1 minucie przerwy niż w pełni sił do podjęcia wysiłku.



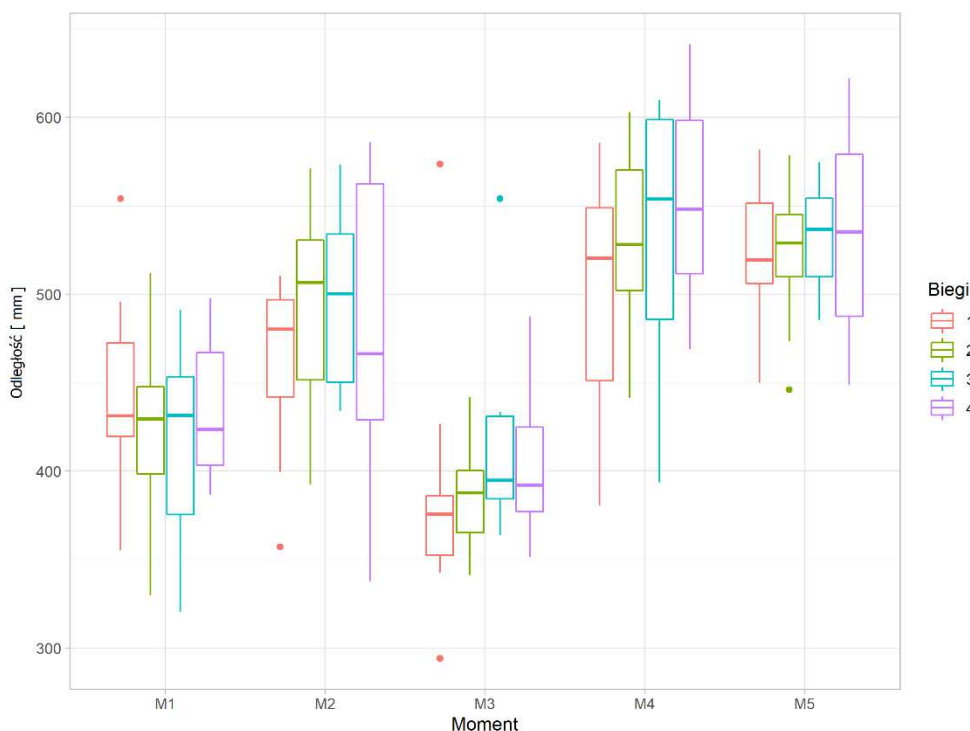


Rycina 22. Wykres różnic międzygrupowych dla zmiennej odległość środka ciężkości do ramienia kończyny atakującej.

Odległość środka ciężkości do przedramienia kończyny atakującej (Odl. środka ciężkości – przedramię A)

Analiza porównawcza biegów wykazała statystycznie istotne różnice w dwóch momentach pokonania płotka dla biegów w I wariancie (odpowiednio; M2  $p=0,006$  oraz M4  $p=0,026$ ; tabela 18). Dla obu momentów wyniki były wyższe (średnio o 30mm) w biegu po 1 minucie przerwy. Oznacza to, że zmęczenie prawdopodobnie miało wpływ na zwiększenie odległości badanej zmiennej w momencie odbicia i lądowania za płotkiem. Wykazano również statystycznie istotne różnice w III wariancie biegów przez płotki dla M4 ( $p = 0,042$ ; tabela 18). Podczas tego momentu zaobserwowano wyższe średnie odległości w biegu na prawą kończynę dolną.

W przeprowadzonej analizie biegów przez płotki zaobserwowano wzrost średnich wartości dla powyższej zmiennej z każdym kolejnym momentem pokonania płotka. Wyjątek stanowił M3, w którym płotkarze uzyskali najniższe średnie wartości (tabela 18). Dodatkowo dla większości momentów pokonania płotka odnotowano niższe wyniki w biegach na lewą kończynę dolną w porównaniu z przeciwną kończyną dolną. Największe rozproszenie wartości tego parametru zaobserwowano w M2 oraz M4 (rycina 23).



Rycina 23. Wykres różnic międzygrupowych dla zmiennej odległość środka ciężkości do przedramienia kończyny atakującej.

#### Odległość środka ciężkości do dłoni kończyny atakującej (Odl. środka ciężkości – dłoń A)

W analizowanych wynikach nie wykazano statystycznie istotnych różnic powyższej zmiennej w poszczególnych wariantach biegów przez płotki. Zaobserwowano jedynie charakterystyczne dla wszystkich biegów najniższe średnie wartości w momencie przygotowania do odbicia (M1; tabela 18).

#### **6.3.4. Zmiany wartości parametrów przestrzennych podczas pokonania płotka.**

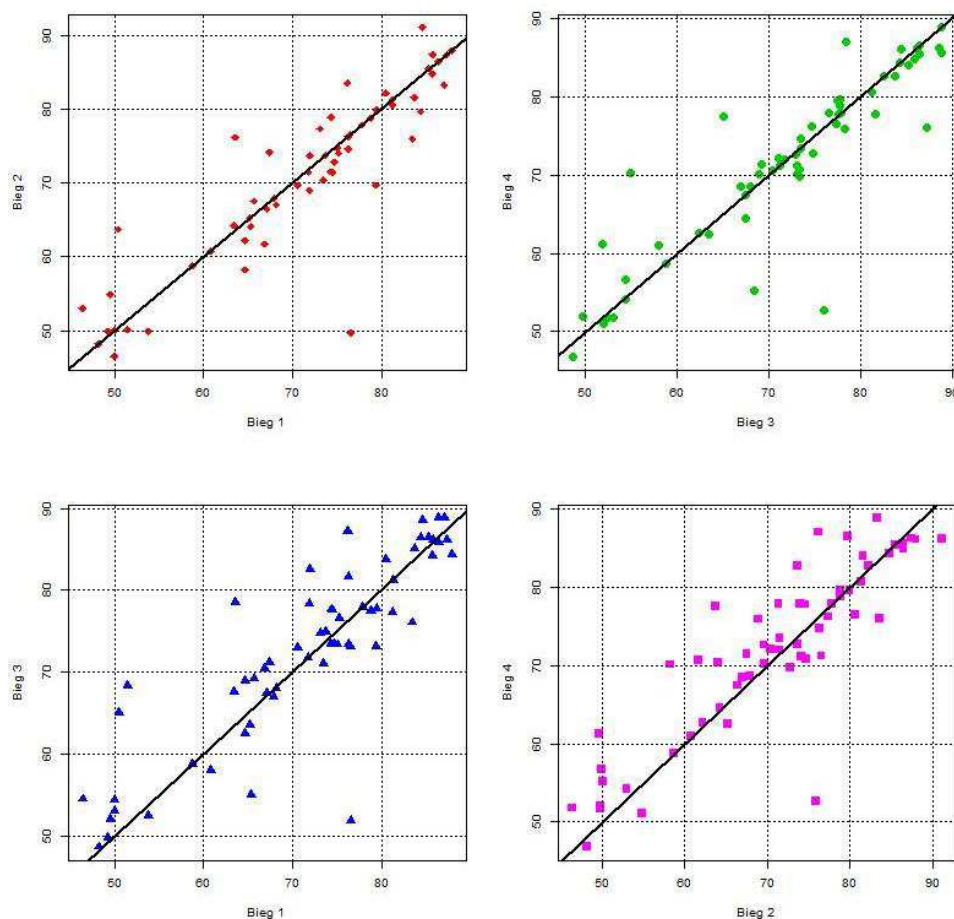
##### Pochylenie tułowia

Analiza wykazała statystycznie istotne różnice w IV wariantcie biegu przez płotki dla M3 ( $p = 0,049$ ; tabela 19). W przypadku tych dwóch biegów, analizowana zmienna wykazała niższe wartości katowe dla pochylenia tułowia podczas pokonania płotka lewą kończyną dolną (B2). Wykresy rozrzutu wartości parametru w poszczególnych biegach również wskazują, iż stosunkowo największe różnice zaobserwowano pomiędzy B2 - B4 (rycina 24). Bez względu na wybór kończyny dolnej atakującej płotek zauważono najniższe średnie wartości w M3 (tabela 19).

Tabela 19. Charakterystyki liczbowe zmiennej pochylenie tułowia względem podłoża [°].

| Zmienna            | M  | B 1        | B 2        | B 3        | B 4        | <i>p (Wilcoxon'a)</i> |         |         |         |
|--------------------|----|------------|------------|------------|------------|-----------------------|---------|---------|---------|
|                    |    | L          | L          | P          | P          | I                     | II      | III     | IV      |
|                    |    | $x \pm sd$ | $x \pm sd$ | $x \pm sd$ | $x \pm sd$ | B1 - B2               | B3 - B4 | B1 - B3 | B2 - B4 |
| Pochylenie tułowia | M1 | 85±3       | 85±3       | 87±2       | 85±3       | 0,838                 | 0,197   | 0,182   | 0,469   |
|                    | M2 | 76±4       | 74±4       | 77±4       | 74±8       | 0,126                 | 0,449   | 0,398   | 0,176   |
|                    | M3 | 55±9       | 53±6       | 56±6       | 56±6       | 0,726                 | 0,624   | 0,469   | 0,049   |
|                    | M4 | 65±5       | 66±5       | 67±5       | 69±5       | 0,909                 | 0,126   | 0,176   | 0,092   |
|                    | M5 | 76±5       | 76±4       | 76±3       | 76±5       | 0,624                 | 0,677   | 0,677   | 0,909   |

Legenda: M - moment pokonania płotka, x- średnia, sd – odchylenie standardowe, p- prawdopodobieństwo Test Wilcoxon'a, L- pokonanie płotka lewą kończyną dolną, P- pokonanie płotka prawą kończyną dolną



Rycina 24. Wykresy rozrzutu wartości pochylenie tułowia względem podłoża w poszczególnych biegach [°].

W dalszej kolejności przeprowadzono analizę statystyczną dla zmiennych kątowych kończyn górnych (tabela 20-27). Wyniki przedstawione w poniższych tabelach dla rotacji

względem osi  $x$  i  $y$  przyjmują różne zwroty (tabela 20, 21, 23 i 24). Wynika to z przyjętego układu odniesienia względem, którego dokonywano pomiaru. Oznacza to, że zmiana znaku na przeciwny świadczy jedynie o zmianie jego zwrotu, a nie o kierunku i długości (te są niezmiennie). Z tego względu w interpretacji wyników dla rotacji poszczególnych segmentów względem osi  $x$  i  $y$  bazowano na wartościach bezwzględnych.

#### Rotacja ramienia kończyny zakroczonej względem osi $x$ (Rot. $x$ - ramię $Z$ )

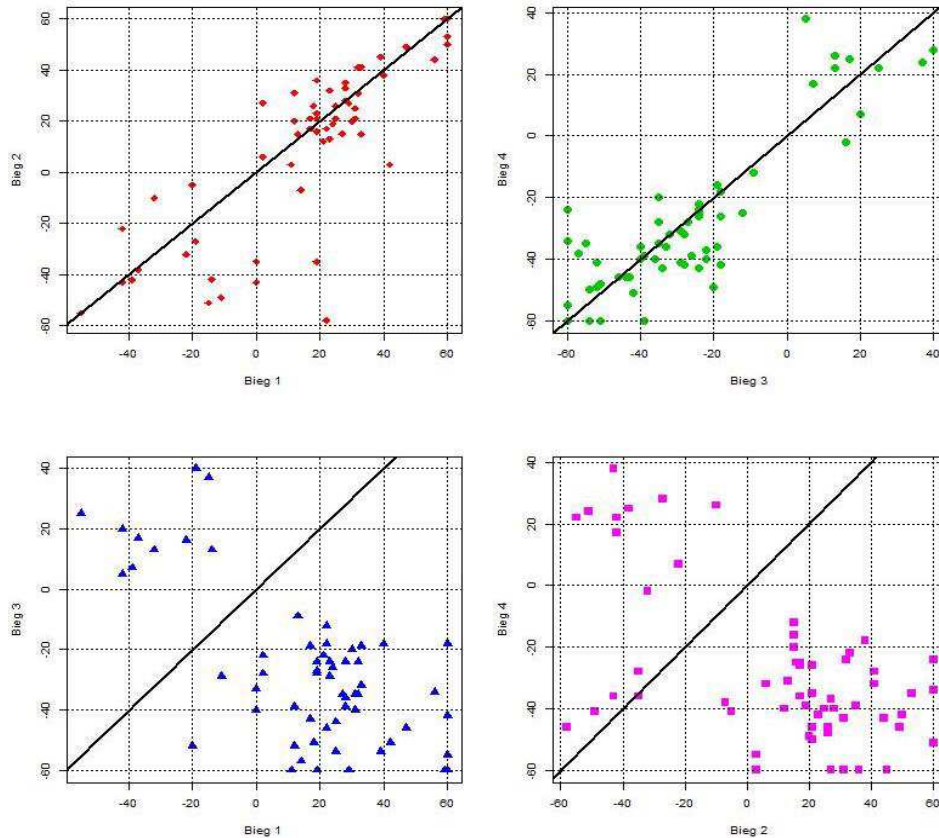
Analiza porównawcza biegów przez płotki wykazała statystycznie istotne różnice dla większości momentów w III i IV wariancie biegów ( $p < 0,05$ ; Tabela 20). Wyjątek stanowił M1 w III wariancie biegów oraz M4 w IV wariancie, w których nie wykazano statystycznie istotnych różnic. W analizowanych wynikach nie wykazano statystycznie istotnych różnic pomiędzy biegami w pełni sił oraz po 1 minucie przerwy, zarówno na lewą jak i prawą kończynę dolną (I i II wariant biegów przez płotki; tabela 20). Jedyne wyjątek stanowił M1 w II wariancie biegu przez płotki ( $p = 0,016$ ). Wykresy rozrzutu wartości parametru w poszczególnych biegach wskazują na to, że stosunkowo największe różnice zaobserwowano pomiędzy B1 i B3 oraz B2 i B4 (rycina 25).

Tabela 20. Charakterystyki liczbowe zmiennych kątowych dla kończyny górnej zakroczonej [ $^{\circ}$ ].

| Zmienna                   | M  | B 1        | B 2        | B 3        | B 4        | <i>p (Wilcoxon'a)</i> |              |              |              |
|---------------------------|----|------------|------------|------------|------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------|
|                           |    | L          | L          | P          | P          | I                     | II           | III          | IV           |
|                           |    | $x \pm sd$ | $x \pm sd$ | $x \pm sd$ | $x \pm sd$ | B1 - B2               | B3 - B4      | B1 - B3      | B2 - B4      |
| Rot. $x$ -<br>ramię $Z$ . | M1 | 18±27      | 14±28      | -14±23     | -20±20     | 0,609                 | <b>0,016</b> | 0,125        | <b>0,041</b> |
|                           | M2 | 7±21       | 3±30       | -27±22     | -29±20     | 0,504                 | 0,449        | <b>0,016</b> | <b>0,027</b> |
|                           | M3 | 19±34      | 13±39      | -35±29     | -33±30     | 0,959                 | 0,812        | <b>0,021</b> | <b>0,026</b> |
|                           | M4 | 21±28      | 12±37      | -29±27     | -29±29     | 0,064                 | 1            | <b>0,016</b> | 0,107        |
|                           | M5 | 15±29      | 10±32      | -30±23     | -31±26     | 0,139                 | 0,858        | <b>0,016</b> | <b>0,042</b> |

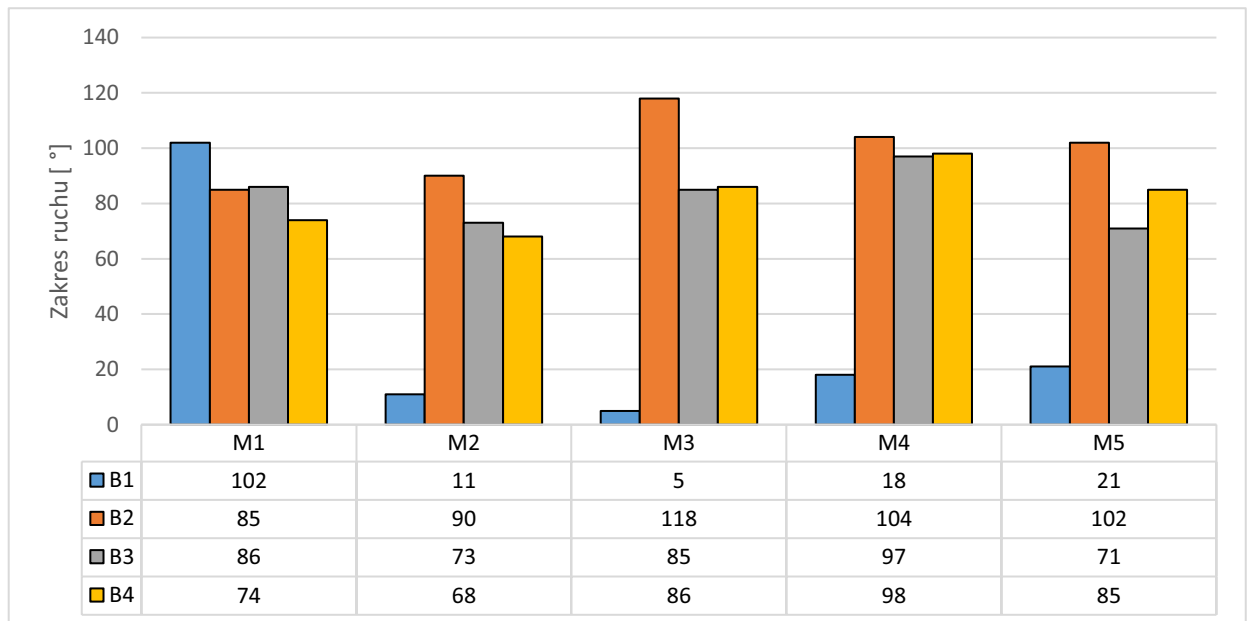
Legenda: M - moment pokonania płotka,  $x$  – średnia,  $sd$  – odchylenie standardowe,  $p$ -prawdopodobieństwo Test Wilcoxon'a, L- pokonanie płotka lewą kończyną dolną, P- pokonanie płotka prawą kończyną dolną

W analizowanych wynikach, zaobserwowano niższe średnie wartości w biegach na lewą kończynę dolną w porównaniu do przeciwnej kończyny dolnej (tabela 20). Uzyskane wyniki dotyczyły każdego momentu pokonania płotka.



Rycina 25. Wykresy rozrzutu wartości kątowych ramienia zakrocznego względem osi  $x$  w poszczególnych biegach [ $^{\circ}$ ].

W przypadku zakresu ruchu ramienia zakrocznego w biegach na prawą kończynę dolną, analizowany parametr zachowywał się podobnie: zaobserwowano zbliżone wartości w każdym momencie pokonania płotka (B3 i B4; rycina 26). W biegach na lewą kończynę dolną, zakres ruchu ramienia zakrocznego znacząco się różnił (B1 i B2). Ponadto zauważono znaczne różnice pomiędzy biegami w pełni sił do podjęcia wysiłku (B1 i B3) oraz biegami po 1 min przerwy (B2 i B4). Podczas biegów, w pełni sił zaobserwowano zdecydowanie mniejszy zakres ruchu dla pokonania płotka lewą kończyną dolną. Wyjątek stanowił M1, który jednocześnie wykazał najwyższą wartość zakresu ruchu ramienia zakrocznego. Odwrotny rozkład wyników występował w biegach po 1 minucie przerwy (B2 i B4), w których mniejszy zakres ruchu był widoczny podczas pokonania płotka prawą kończyną dolną (rycina 26).



Rycina 26. Zakres ruchu dla ramienia kończyny zakroczej względem osi x.

#### Rotacja ramienia zakrocznego względem osi y (Rot. y- ramię Z)

Dla analizowanej zmiennej nie wykazano statystycznie istotnych różnic podczas pokonania płotka dla czterech wariantów biegu przez płotki (tabela 21). Jedyny wyjątek stanowiły biegi na lewą kończynę dolną w M3 (wariant I), w których różnice, okazały się statystycznie istotne ( $p=0,005$ , tabela 21).

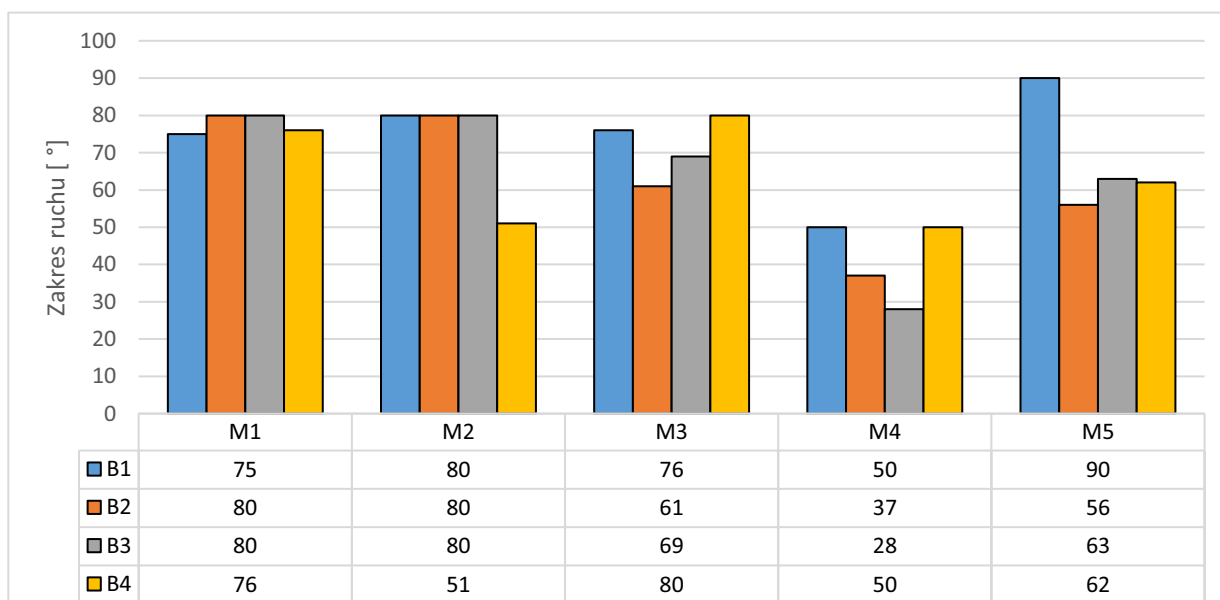
Tabela 21. Charakterystyki liczbowe zmiennych kątowych dla zakroczej kończyny górnej [°].

| Zmienna             | M  | B 1        | B 2        | B 3        | B 4        | <i>p (Wilcoxon'a)</i> |         |         |         |
|---------------------|----|------------|------------|------------|------------|-----------------------|---------|---------|---------|
|                     |    | L          | L          | P          | P          | I                     | II      | III     | IV      |
|                     |    | $x \pm sd$ | $x \pm sd$ | $x \pm sd$ | $x \pm sd$ | B1 - B2               | B3 - B4 | B1 - B3 | B2 - B4 |
| Rot. y-<br>ramię Z. | M1 | -19±24     | -15±29     | 11±26      | 10±25      | 0,959                 | 0,234   | 0,064   | 0,151   |
|                     | M2 | -5±27      | -6±29      | 9±27       | 8±15       | 1                     | 0,959   | 0,339   | 0,238   |
|                     | M3 | 5±21       | -11±23     | -3±25      | 1±26       | <b>0,005</b>          | 0,755   | 0,611   | 0,306   |
|                     | M4 | -2±15      | 1±12       | -4±9       | -5±14      | 0,346                 | 0,386   | 0,791   | 0,582   |
|                     | M5 | -3±26      | -11±17     | 12±18      | 7±19       | 0,423                 | 0,448   | 0,209   | 0,168   |

Legenda: M - moment pokonania płotka, x- średnia, sd – odchylenie standardowe, p- prawdopodobieństwo Test Wilcoxon'a, L- pokonanie płotka lewą kończyną dolną, P- pokonanie płotka prawą kończyną dolną



Rycina 27 ukazuje zbliżone zakresy ruchu dla wszystkich czterech biegów w momencie M1 i M2. Dla większości biegów w tych dwóch momentach zakres ruchu wynosił 80°. Kolejne momenty charakteryzowały się już większym zróżnicowaniem. Dodatkowo zauważa się, iż zakres ruchu ramienia zakrocznego był najmniejszy w M4. W biegach na lewą kończynę dolną, zakres ruchu ramienia zakrocznego znacząco się różnił od M3. Zauważono, że ostatni moment pokonania płotka w biegu nr 1 charakteryzował się największym zakresem ruchu (rycina 27).



Rycina 27. Zakres ruchu dla ramienia kończyny zakrocznej względem osi y.

#### Rotacja ramienia zakrocznego względem osi z (Rot.z – ramię Z)

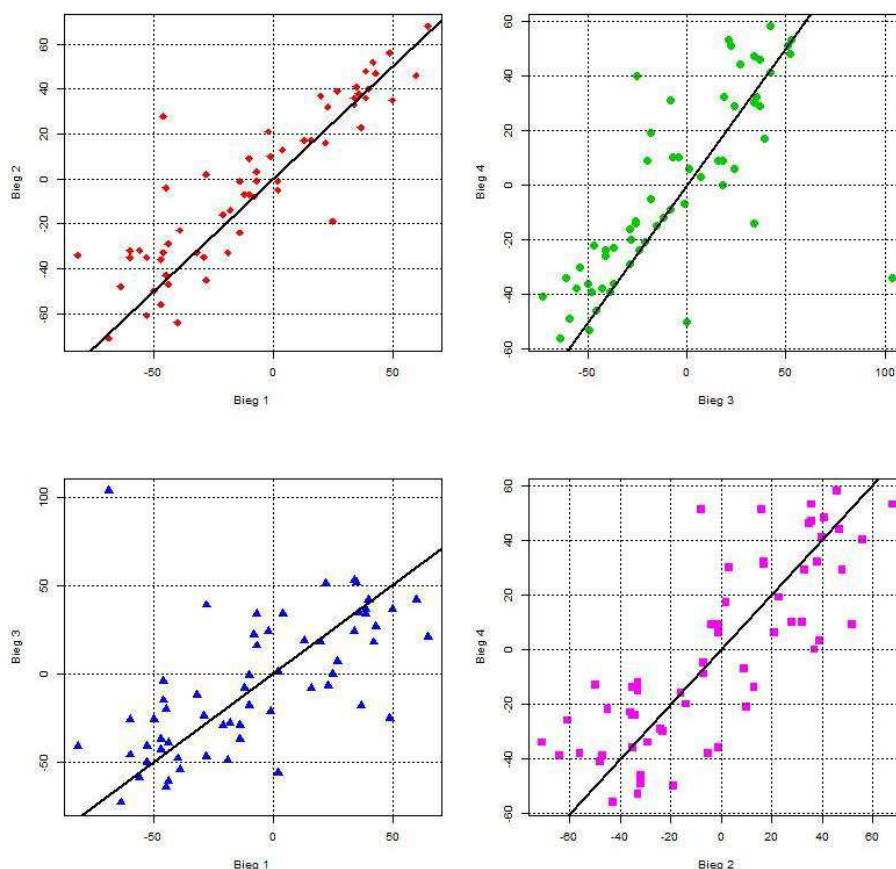
W analizie porównawczej poszczególnych biegów, wykazano statystycznie istotne różnice tylko dla dwóch momentów pokonania płotka. Różnica dotyczyła M2 w III wariancie biegów

Tabela 22. Charakterystyki liczbowe zmiennych kątowych dla zakrocznej kończyny górnej [°].

| Zmienna                    | M  | B 1        | B 2        | B 3        | B 4        | <i>p (Wilcoxon'a)</i> |              |              |         |
|----------------------------|----|------------|------------|------------|------------|-----------------------|--------------|--------------|---------|
|                            |    | L          | L          | P          | P          | I                     | II           | III          | IV      |
|                            |    | $x \pm sd$ | $x \pm sd$ | $x \pm sd$ | $x \pm sd$ | B1 - B2               | B3 - B4      | B1 - B3      | B2 - B4 |
| <u>Rot.z –<br/>ramię Z</u> | M1 | 1±21       | 0±18       | -8±19      | -6±24      | 0,556                 | 0,357        | 0,107        | 0,154   |
|                            | M2 | -49±17     | -44±13     | -25±42     | -31±13     | 0,755                 | 0,233        | <b>0,025</b> | 0,065   |
|                            | M3 | -36±23     | -26±23     | -43±29     | -30±18     | 0,135                 | <b>0,034</b> | 0,504        | 0,556   |
|                            | M4 | 9±36       | 22±23      | 16±24      | 22±23      | 0,055                 | 0,683        | 0,380        | 0,723   |
|                            | M5 | 33±18      | 36±16      | 28±20      | 36±17      | 0,109                 | 0,229        | 0,432        | 0,783   |

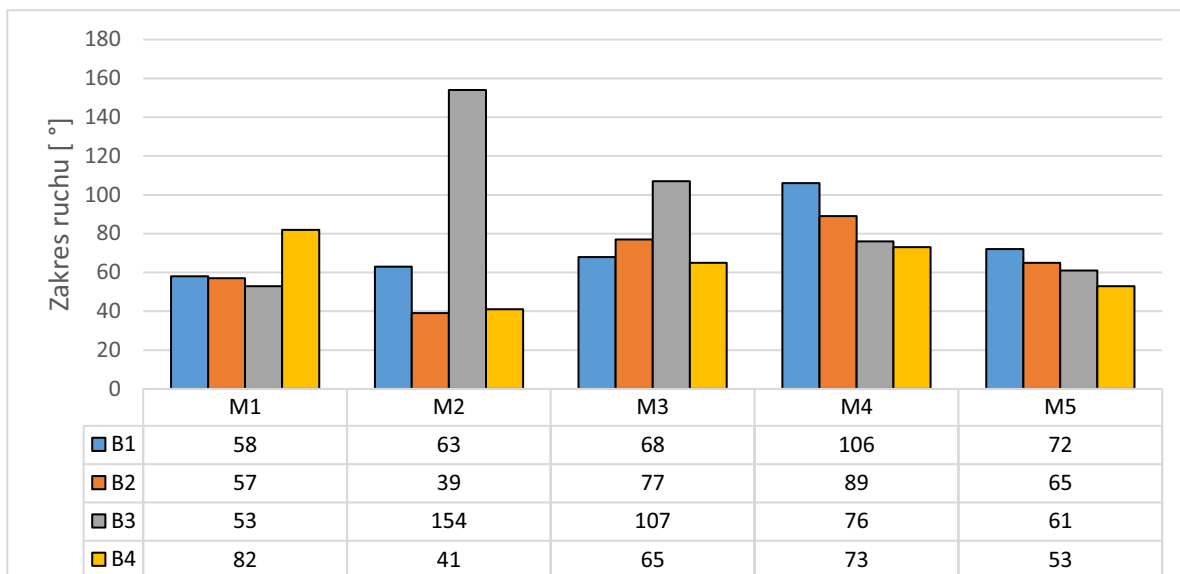
Legenda: M - moment pokonania płotka, x- średnia, sd – odchylenie standardowe, p- prawdopodobieństwo Test Wilcoxon'a, L- pokonanie płotka lewą kończyną dolną, P- pokonanie płotka prawą kończyną dolną

( $p=0,025$ ; tabela 22) oraz M3 w II wariancie biegów przez płotki ( $p=0,034$ ) (tabela 22). Badana zmienna wykazywała dla większości momentów wyższe wartości kątowe w biegach po 1 minucie przerwy bez względu na wybór dolnej kończyny atakującej płotek. Wykresy rozrzutu wartości parametru w poszczególnych biegach wskazują na to, że stosunkowo największe różnice zaobserwowano pomiędzy biegami B1-B3 oraz B2 i B4 (rycina 28).



Rycina 28. Wykresy rozrzutu wartości kątowych ramienia zakrocznego względem osi z w poszczególnych biegach [°].

Rycina 29 ukazuje zakresy ruchu zakrocznej kończyny górnej podczas pokonania płotka. W poszczególnych momentach zauważa się, iż wszystkie biegi cechuje duża zmienność. W M1 dla większości biegów, zakres ruchu ramienia kończyny zakrocznej względem osi z był podobny. Wyjątek stanowił B4 dla którego zauważono większy zakres ruchu (odpowiedni  $B3=82^\circ$ ; rycina 29).



Rycina 29. Zakres ruchu dla ramienia kończyny zakroczej względem osi z.

#### Rotacja ramienia atakującego względem osi x (Rot.x- ramię A)

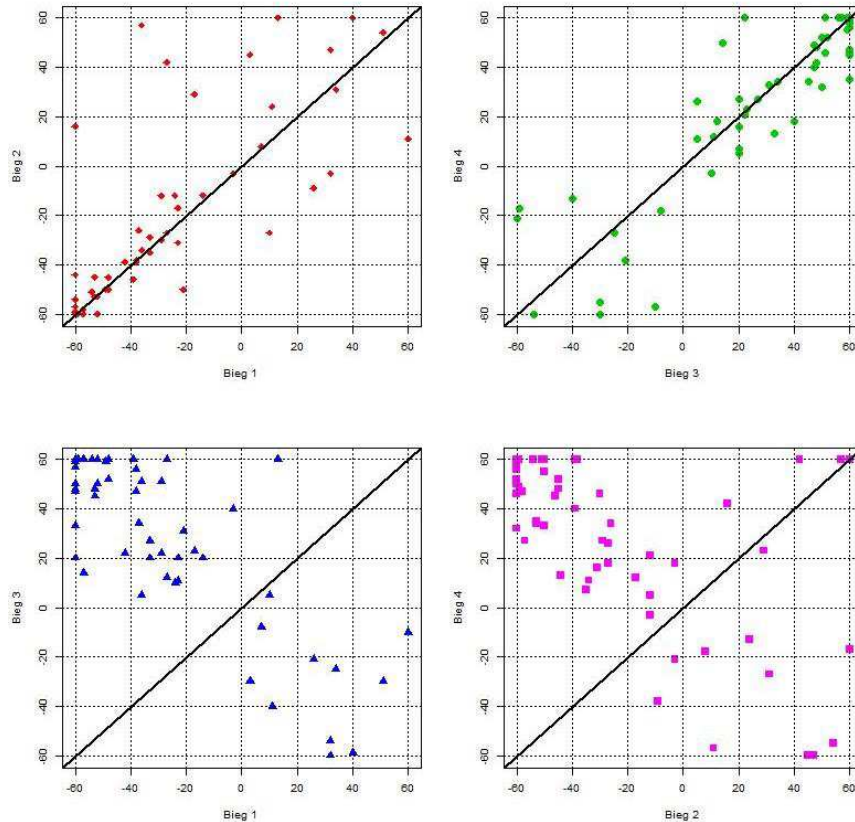
W przypadku rotacji atakującej kończyny górnej względem osi x, zaobserwowano statystycznie istotne różnice w III i IV wariancie biegów przez płotki. W obu wykazano istotność statystyczną na poziomie  $p < 0,05$  (tabela 23). Oznacza to, że powyższa zmienna różni się istotnie w zależności od wyboru kończyny dolnej atakującej płotek. Dotyczy to zarówno biegów w pełni sił oraz po 1 minucie przerwy (biegi na „zmęczeniu”). W biegach na lewą kończynę dolną zauważono wyższe średnie wartości kątowe dla biegu w pełni sił do podjęcia wysiłku (B1; tabela 23). Dodatkowo dla wszystkich biegów zaobserwowano najniższe średnie wartości w M5.

Tabela 23. Charakterystyki liczbowe zmiennych kątowych dla atakującej kończyny górnej [°].

| Zmienna             | M  | B 1        | B 2        | B 3        | B 4        | <i>p (Wilcoxon)</i> |         |         |         |
|---------------------|----|------------|------------|------------|------------|---------------------|---------|---------|---------|
|                     |    | L          | L          | P          | P          | I                   | II      | III     | IV      |
|                     |    | $x \pm sd$ | $x \pm sd$ | $x \pm sd$ | $x \pm sd$ | B1 - B2             | B3 - B4 | B1 - B3 | B2 - B4 |
| Rot.x-<br>ramię A . | M1 | -30±27     | -22±34     | 22±27      | 22±34      | 0,341               | 1       | 0,006   | 0,092   |
|                     | M2 | -34±38     | -28±51     | 34±44      | 36±37      | 0,506               | 0,944   | 0,016   | 0,023   |
|                     | M3 | -33±43     | -30±45     | 44±31      | 36±43      | 0,672               | 0,066   | 0,006   | 0,025   |
|                     | M4 | -36±32     | -31±36     | 38±42      | 41±30      | 0,341               | 0,529   | 0,013   | 0,009   |
|                     | M5 | -21±26     | -19±24     | 15±20      | 10±23      | 0,349               | 0,154   | 0,030   | 0,028   |

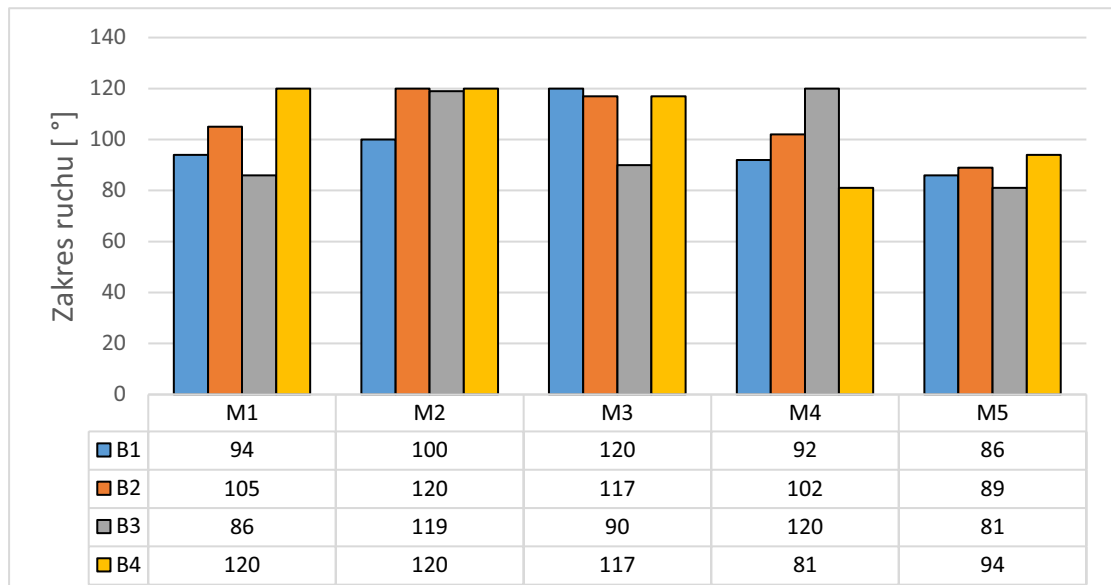
Legenda: M - moment pokonania płotka, x- średnia, sd – odchylenie standardowe, p- prawdopodobieństwo Test Wilcoxon'a, L- pokonanie płotka lewą kończyną dolną, P- pokonanie płotka prawą kończyną dolną

Wykresy rozrzutu wartości parametru w poszczególnych biegach również wskazują na to, iż stosunkowo największe różnice zaobserwowano pomiędzy biegami w wariancie III i IV (rycin 30).



Rycina 30. Wykresy rozrzutu wartości kątowych ramienia atakującego względem osi  $x$  w poszczególnych biegach [ $^{\circ}$ ].

W przypadku zakres ruchu ramienia atakującego, bez względu na wybór dolnej kończyny atakującej płotek dla wszystkich biegów ponownie zauważono najniższe wartości w M5 (rycina 31). Następnie podczas pokonania płotka lewą kończyną dolną zaobserwowano zwiększony zakres ramienia atakującego w próbie po 1 minucie przerwy (B2; rycina 31). Różnice były niewielkie i dotyczyły wszystkich momentów pokonania płotka z wyjątkiem M3 (odpowiednio B1:  $120^{\circ}$  oraz B2:  $117^{\circ}$ , rycina 31).



Rycina 31. Zakres ruchu dla ramienia kończyny atakującej względem osi  $x$ .

Rotacja ramienia atakującej kończyny względem osi  $y$  (Rot.  $y$ - ramię A).

Kolejną analizowaną zmienną była rotacja ramienia atakującego względem osi  $y$ . Ponownie wykazano statystycznie istotne różnice w III i IV wariancie biegów przez płotki, lecz tylko w przypadku M3 ( $p= 0,004$ ; tabela 24). Oznacza to, że powyższa zmienna różni się istotnie w zależności od wyboru kończyny dolnej zarówno w analizie porównawczej biegów w pełni sił, jak również w biegach po 1 minucie przerwy (bieg na „zmęczeniu”). Zaobserwowano również, iż M3 na tle pozostałych momentów pokonania płotka we wszystkich czterech próbach biegu przyjmuje zdecydowanie wyższe średnie wartości kątowe.

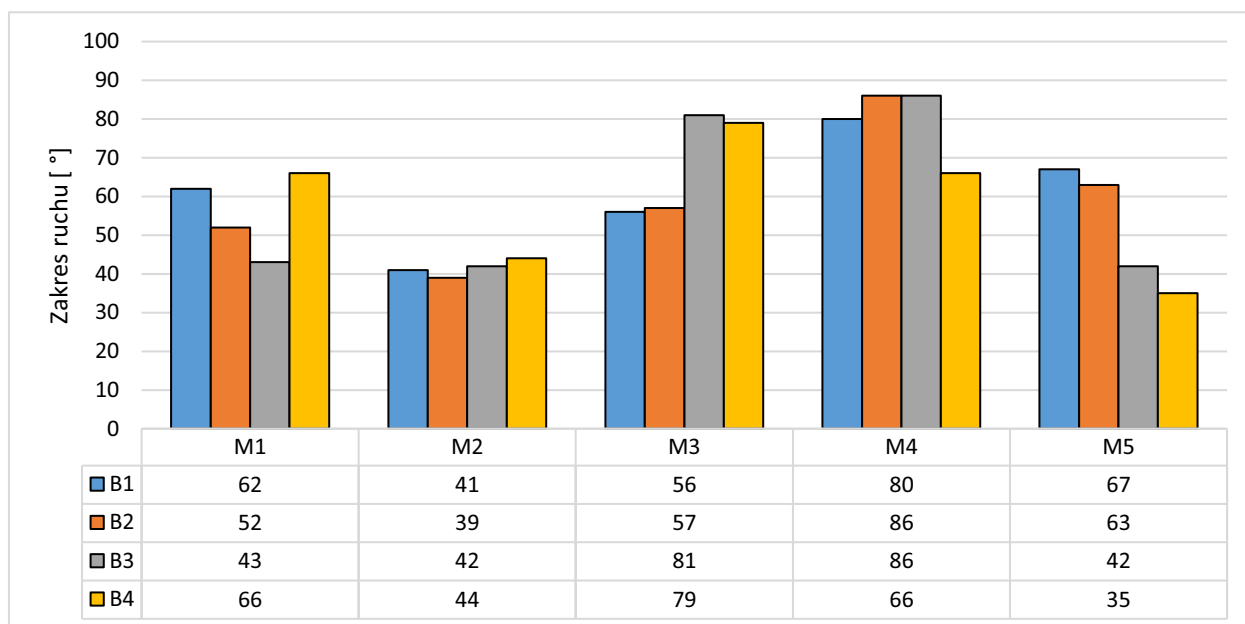
Tabela 24. Charakterystyki liczbowe zmiennych kątowych dla atakującej kończyny górnej [°].

| Zmienna                 | M  | B 1       | B 2       | B 3       | B 4       | <i>p (Wilcoxon'a)</i> |         |         |         |
|-------------------------|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------------|---------|---------|---------|
|                         |    | L         | L         | P         | P         | I                     | II      | III     | IV      |
|                         |    | $x\pm sd$ | $x\pm sd$ | $x\pm sd$ | $x\pm sd$ | B1 - B2               | B3 - B4 | B1 - B3 | B2 - B4 |
| Rot. $y$ -<br>ramię A . | M1 | -1±18     | -2±16     | -10±15    | -1±20     | 0,858                 | 0,050   | 0,481   | 0,307   |
|                         | M2 | 2±12      | 1±13      | 3±13      | -3±14     | 0,540                 | 0,195   | 0,723   | 0,397   |
|                         | M3 | -25±19    | -21±19    | 20±22     | 22±22     | 0,637                 | 1       | 0,004   | 0,004   |
|                         | M4 | 1±25      | 1±28      | -10±32    | -10±26    | 0,905                 | 0,553   | 0,350   | 0,455   |
|                         | M5 | -2±21     | 5±17      | 1±13      | -4±12     | 0,449                 | 0,073   | 0,937   | 0,380   |

Legenda: M - moment pokonania płotka,  $x$ - średnia,  $sd$  – odchylenie standardowe,  $p$ - prawdopodobieństwo Test Wilcoxon'a, L- pokonanie płotka lewą kończyną dolną, P- pokonanie płotka prawą kończyną dolną

Dodatkowo podczas M4 nie nastąpiły zmiany dla rotacji ramienia atakującego podczas powtórnego biegu. Uzyskano te same wyniki dla obu biegów zarówno na lewą jak i prawą kończynę dolną (odpowiednio B1 i B2:  $1^{\circ}\pm 25^{\circ}$  oraz B3 i B4:  $-10^{\circ}\pm 26^{\circ}$ ; tabela 24).

Dla większości biegów przez płotki, zakres ruchu ramienia kończyny atakującej względem osi y przyjmował najwyższe wartości w M4 (rycina 32). Wyjątek stanowił tylko B4, dla którego największy zakres ruchu odnotowano w M3. Dodatkowo dla wszystkich biegów zaobserwowano zwiększający się zakres ruchu od M2 do M4.



Rycina 32. Zakres ruchu dla ramienia kończyny atakującej względem osi y.

#### Rotacja ramienia atakującego względem osi z (Rot. z – ramię A)

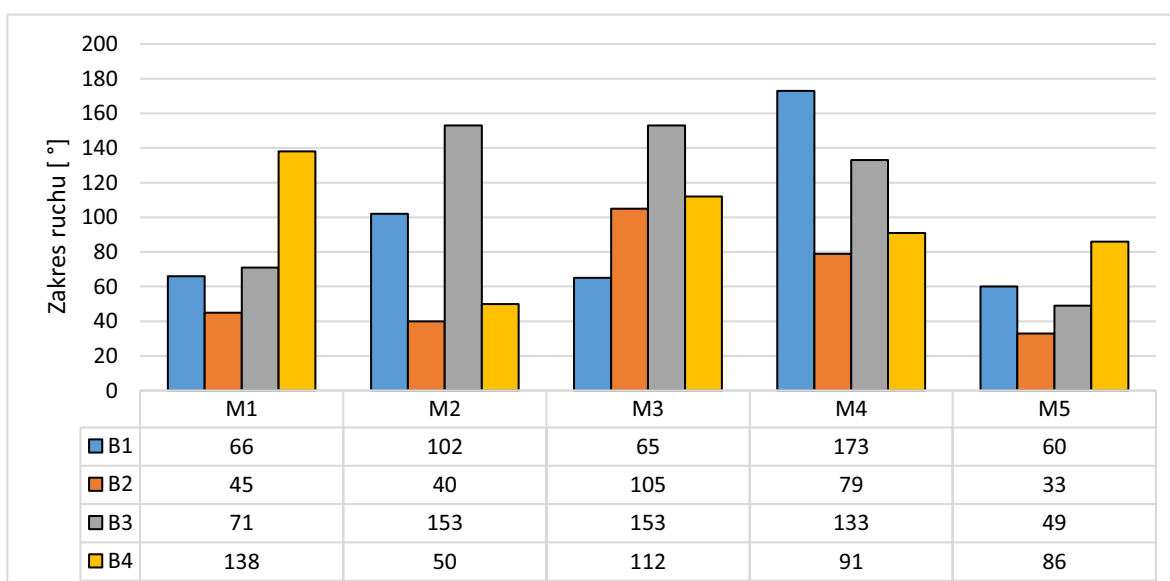
Analiza porównawcza poszczególnych biegów wykazała statystycznie istotne różnice w I i III wariancie biegów przez płotki tylko w M1 (odpowiednio  $p=0,014$  oraz  $p=0,034$ ; tabela 25). Zatem istotne różnice nastąpiły w biegach na lewą kończynę dolną oraz między lewą i prawą kończyną dolną w biegach w pełni sił do podjęcia wysiłku. W momencie M3 zaobserwowano niższe wartości kątowe powyższej zmiennej podczas pokonania płotka lewą kończyną dolną w porównaniu z przeciwną kończyną dolną. Następnie odwrotny charakter przyjmowały wyniki w M4 i M5. Podczas których płotkarze osiągnęli niższe wartości kątowe dla biegów na lewą kończynę dolną w porównaniu z przeciwną kończyną dolną.

Tabela 25. Charakterystyki liczbowe zmiennych kątowych dla atakującej kończyny górnej [ °].

| Zmienna             | M  | B 1         | B 2         | B 3         | B 4         | <i>p (Wilcoxon'a)</i> |                |                |                |
|---------------------|----|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|
|                     |    | L           | L           | P           | P           | I                     | II             | III            | IV             |
|                     |    | <i>x±sd</i> | <i>x±sd</i> | <i>x±sd</i> | <i>x±sd</i> | <b>B1 - B2</b>        | <b>B3 - B4</b> | <b>B1 - B3</b> | <b>B2 - B4</b> |
| Rot. z -<br>ramię A | M1 | -21±17      | -9±15       | -6±21       | -8±36       | 0,014                 | 0,168          | 0,034          | 0,569          |
|                     | M2 | 75±26       | 74±13       | 52±40       | 67±14       | 0,398                 | 0,058          | 0,071          | 0,195          |
|                     | M3 | 61±21       | 60±26       | 67±42       | 62±32       | 0,937                 | 0,504          | 0,307          | 0,229          |
|                     | M4 | -14±46      | -26±24      | -21±32      | -32±28      | 0,688                 | 0,346          | 0,423          | 0,455          |
|                     | M5 | -68±16      | -67±10      | -74±14      | -73±23      | 0,8580                | 0,755          | 0,223          | 0,366          |

Legenda: M - moment pokonania płotka, x- średnia, sd – odchylenie standardowe, p- prawdopodobieństwo Test Wilcoxon'a, L- pokonanie płotka lewą kończyną dolną, P- pokonanie płotka prawą kończyną dolną

Rycina 33 obrazuje zakres ruchu ramienia kończyny atakującej względem osi z. W zależności od wyboru kończyny dolnej atakującej płotek zauważono, znaczne różnice pomiędzy biegami w pełni sił do podjęcia wysiłku (B1 i B3) oraz biegami po 1 min przerwy (B2 i B4). Biegi, w których pokonano płotek lewą kończyną dolną charakteryzowały się mniejszym zakresem ruchu. Wyjątek stanowiła B1 w M4, który wykazał najwyższą wartość zakresu ruchu dla ramienia atakującego podczas pokonania płotka. W przypadku porównania obu biegów na lewą kończyną dolną zauważono większy zakres ruchu dla biegu w pełni sił do podjęcia wysiłku, w porównaniu z biegiem po 1 minucie przerwy (rycina 33). Obserwacja dotyczyła wszystkich momentów pokonania płotka, z wyjątkiem M3, w którym wyniki wykazały odwrotny charakter.



Rycina 33. Zakres ruchu dla ramienia kończyny atakującej względem osi z.



### Rotacja przedramienia zakrocznego względem osi z (Rot. z – przedramię Z)

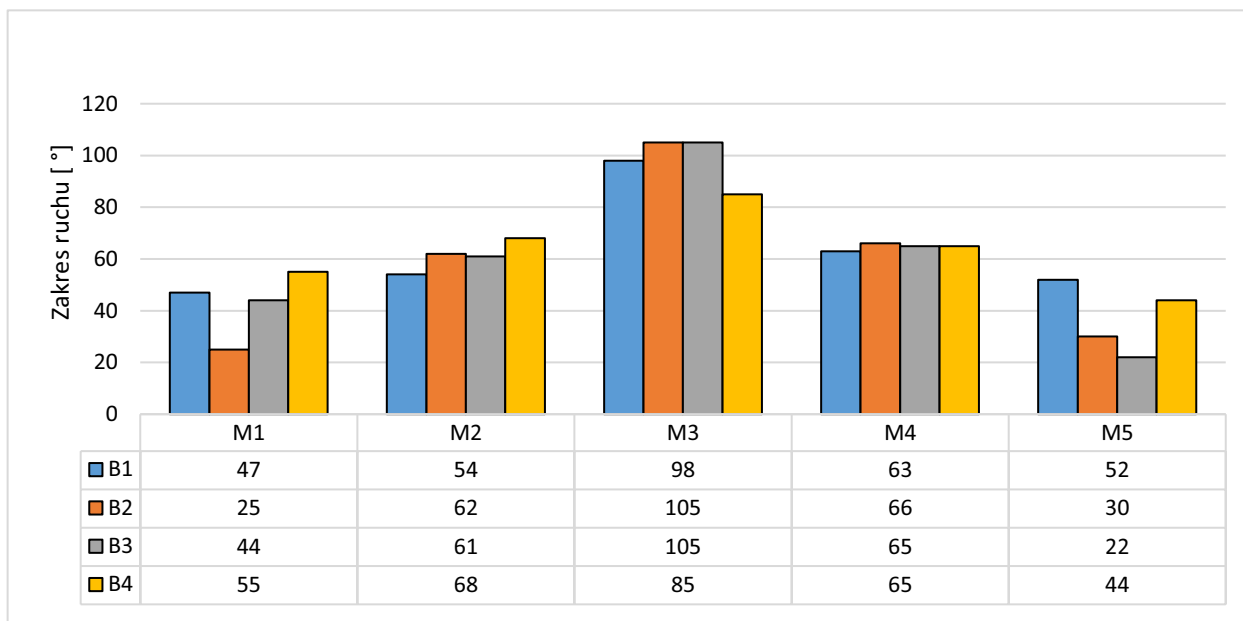
W tabeli 26 przedstawiono analizę statystyczną wyników rotacji przedramienia kończyny zakrocznej względem osi z. Analiza porównawcza poszczególnych biegów, wykazała statystycznie istotne różnice tylko w I wariancie biegów przez płotki dla M2 ( $p = 0,024$ ; tabela 26). Wyniki badań dla powyższej zmiennej przyjmowały najwyższe średnie kątowe w M5 oraz najniższe w M3. Największe rozproszenie wartości dla powyższej zmiennej zaobserwowano w M3 dla wszystkich biegów przez płotki. W analizowanych wynikach zauważa się niewielkie różnice pomiędzy pierwszym, a drugim biegiem zarówno na lewą i prawa kończynę dolną.

Tabela 26. Charakterystyki liczbowe parametrów kątowych rotacji wokół osi z dla kończyny górnej zakrocznej i atakującej [°].

| Zmienna                     | M  | B 1        | B 2        | B 3        | B 4        | <i>p (Wilcoxon'a)</i> |         |         |         |
|-----------------------------|----|------------|------------|------------|------------|-----------------------|---------|---------|---------|
|                             |    | L          | L          | P          | P          | I                     | II      | III     | IV      |
|                             |    | $x \pm sd$ | $x \pm sd$ | $x \pm sd$ | $x \pm sd$ | B1 - B2               | B3 - B4 | B1 - B3 | B2 - B4 |
| Rot. z –<br>przedramię<br>Z | M1 | 86±14      | 83±8       | 82±15      | 81±15      | 0,968                 | 0,683   | 0,284   | 0,593   |
|                             | M2 | 65±16      | 72±18      | 72±19      | 71±20      | <b>0,024</b>          | 0,341   | 0,723   | 0,824   |
|                             | M3 | 65±38      | 66±38      | 72±33      | 72±30      | 0,689                 | 0,906   | 0,677   | 0,456   |
|                             | M4 | 94±19      | 86±20      | 85±18      | 86±22      | 0,398                 | 0,918   | 0,157   | 0,637   |
|                             | M5 | 105±19     | 107±11     | 114±8      | 105±17     | 0,858                 | 0,068   | 0,284   | 0,905   |

Legenda: M - moment pokonania płotka, x – średnia, sd – odchylenie standardowe, p- prawdopodobieństwo Test Wilcoxon'a, L- pokonanie płotka lewą kończyną dolną, P- pokonanie płotka prawą kończyną dolną

W przypadku zakres ruchu przedramienia zakrocznego zauważono, iż bez względu na wybór dolnej kończyny atakującej płotek następuje zwiększenie zakresu ruchu do M3, a następnie jego obniżenie w M4 i M5 (rycina 34). Ponadto w M4 zakres ruchu przedramienia zakrocznego był niemalże identyczny dla wszystkich biegów.



Rycina 34. Zakres ruchu dla przedramienia kończyny zakroczej względem osi z.

#### Rotacja przedramienia atakującego względem osi z (Rot. z- przedramię A)

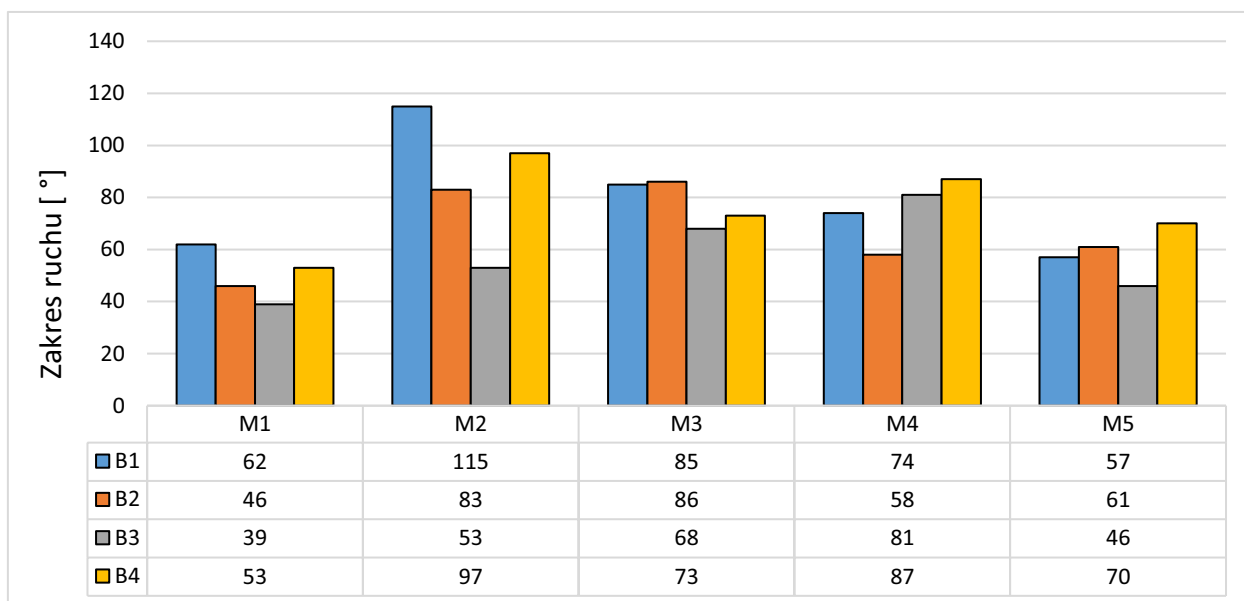
Analiza porównawcza pomiędzy poszczególnymi biegami wykazała statystycznie istotne różnice w I i III wariancie biegów przez płotki (tabela 27). Zaobserwowane wyniki dotyczyły tylko M4 (odpowiednio; I wariant  $p=0,025$ , III wariant  $p=0,037$ ; tabela 27). W przypadku wszystkich biegów przez płotki, zaobserwowano najwyższe średnie wartości w M1 oraz najniższe w M3. Tabela 27 ukazuje, iż zawodnicy we wszystkich biegach uzyskali najniższe średnie kątowne podczas pokonania płotka w pierwszej próbie biegu na lewą kończynę dolną (B1). Obserwowana zależność dotyczy wszystkich momentów pokonania płotka, z wyjątkiem M3.

Tabela 27. Charakterystyki liczbowe parametrów kątowych rotacji wokół osi z dla przedramienia kończyny górnej atakującej [°].

| Zmienna                    | M  | B 1        | B 2        | B 3        | B 4        | <i>p (Wilcoxon'a)</i> |         |              |         |
|----------------------------|----|------------|------------|------------|------------|-----------------------|---------|--------------|---------|
|                            |    | L          | L          | P          | P          | I                     | II      | III          | IV      |
|                            |    | $x \pm sd$ | $x \pm sd$ | $x \pm sd$ | $x \pm sd$ | B1 - B2               | B3 - B4 | B1 - B3      | B2 - B4 |
| Rot. z-<br>przedramię<br>A | M1 | 95±19      | 99±18      | 98±10      | 100±15     | 0,234                 | 0,623   | 0,529        | 0,755   |
|                            | M2 | 76±35      | 90±24      | 98±20      | 94±33      | 0,106                 | 0,574   | 0,055        | 0,202   |
|                            | M3 | 46±25      | 44±27      | 48±26      | 40±25      | 0,678                 | 0,688   | 0,665        | 0,350   |
|                            | M4 | 41±23      | 55±18      | 63±24      | 62±27      | <b>0,025</b>          | 0,893   | <b>0,037</b> | 0,968   |
|                            | M5 | 68±19      | 76±20      | 73±14      | 74±20      | 0,109                 | 0,929   | 0,569        | 0,61    |

Legenda: M - moment pokonania płotka, x- średnia, sd – odchylenie standardowe, p- prawdopodobieństwo Test Wilcoxon'a, L- pokonanie płotka lewą kończyną dolną, P- pokonanie płotka prawą kończyną dolną

Dla większości biegów przez płotki, zakres ruchu przedramienia kończyny atakującej względem osi z był najmniejszy w M1 (rycina 35). W przypadku większości momentów pokonania płotka lewą kończyną dolną zauważa się większy zakres ruchu dla biegu w pełni sił do podjęcia wysiłku (B1). Jednocześnie w biegach na prawą kończynę dolną obserwuje się odwrótnych rozkład wyników. W biegach powtórzonych po 1 minucie przerwy, zakres ruchu dla przedramienia atakującej kończyny był zdecydowanie większy (rycina 35).



Rycina 35. Zakres ruchu dla przedramienia kończyny atakującej względem osi z.

## 7. Dyskusja

### 7.1. Jakościowa ocena techniki ruchu kończyn górnych w czasie pokonania płotka w grupach o różnym poziomie zaawansowania.

W ciągu ostatnich trzech dziesięcioleci pojawiło się wiele odniesień dotyczących analizy techniki biegu przez płotki na różnym poziomie zaawansowania (McLean 1994, Iskra 2006, Otsuka 2019). Analiza parametrów kinematycznych i przebiegu ruchu w biegach przez płotki ma bogatą tradycję (Iskra i wsp. 2011, Valamatos i wsp. 2005). W większości wniosków aplikacyjnych badacze koncentrują się na zmianach położenia środka ciężkości oraz parametrach kończyn dolnych (Salo 1997, Li i wsp. 2011, Čoh i wsp. 2008, Krzeszowski i wsp. 2015). W piśmiennictwie brakuje pozycji dotyczących ruchów w zakresie kończyn górnych w czasie biegu na różnych dystansach. Nieliczne analizy opierają się jedynie na obserwacji zdjęć i kinogramów najlepszych zawodników świata (McKinnon i wsp. 2012). Wyniki badań własnych w zakresie ruchu kończyn górnych w grupie studentów wychowania fizycznego i trenujących płotkarzy potwierdziły postawioną wcześniej hipotezę. W biegach przez płotki ruch kończyn górnych w większości różnicuje badane grupy. Zjawisko to jest obserwowane dla obu kończyn górnych w poszczególnych momentach pokonania płotka.

#### Kończyna górna atakująca

Wyniki analizy międzygrupowej dla atakującej kończyny górnej w momencie odbicia były istotne statystycznie w przypadku zmiennej zgięcie stawu łokciowego. Podobieństwo między grupami było widoczne podczas ruchu w stawie ramiennym, badane osoby w większości wykonywały ruch zginania w stawie ramiennym. Jest to zgodne z wieloma innymi autorami. Według Bedini (1988) akcja ramienia atakującego musi być wykonana zdecydowanie do przodu, a kąt przedramienia powinien być bliski  $90^\circ$ . McFarlane (2000) zwraca uwagę na dłoń kończyny atakującej, która powinna wykonywać ruch „sięgania” do stopy atakującej płotek podczas momentu odbicia. Podobnie uważa Coły (2011) przyjmując, iż w odpowiedzi na ruch kończyny dolnej atakującej płotek, następuje wysunięcie przeciwległego ramienia do przodu, poza kolano kończyny dolnej atakującej płotek oraz do góry. Brak istotnych różnic w ruchu na płaszczyźnie strzałkowej świadczy, iż ustawienie atakującej kończyny górnej podczas pokonania płotka w momencie odbicia jest podobne dla obu badanych grup. Jednocześnie nie zależy od stażu treningowego oraz umiejętności technicznych badanych.

Wyniki analizy międzygrupowej w momencie pozycji „nad płotkiem”, wykazały statystycznie istotne różnice dla dwóch zmiennych. Dotyczyły one ruchu kończyny na płaszczyźnie strzałkowej oraz zginania stawu łokciowego. Większość grupy płotkarzy kierowała ramię kończyny górnej w dół, co w synchronizacji z kończyną dolną wspomaga szybsze zejście

z płotka. Potwierdza to w swoich rozważaniach McKinnon (2012) twierdząc, że napęd ramienia skierowanego w dół z punktu widzenia biomechaniki jest korzystny w późniejszym etapie, który stanowi moment lądowania za płotkiem. Natomiast studenci w tym samym momencie kierowali poziomo kończynę górną, co również zaliczane jest do prawidłowego ruchu podczas pokonania płotka. Potwierdza to Jolly (1989) oraz Winckler (2000) pisząc, iż przednia kończyna dolna i przeciwległe do niej ramię muszą poruszać się równolegle. Przyjęcie takiej pozycji ma pomóc biegającemu utrzymać ramiona i biodra prostopadle do płotka oraz wyeliminować skręcanie się górnej części ciała. Powyższe wyniki ujawniły, iż wraz z poziomem zaawansowania sportowego ruch kończyny górnej wykonany jest do pozycji ramienia poniżej osi stawu ramiennego.

Różnicę w zgięciu stawu łokciowego pomiędzy grupami można przypisać do poziomu zdolności motoryczny badanych osób. W pozycji „nad płotkiem” różnice międzygrupowe były widoczne także w zgięciu stawu łokciowego. Płotkarze utrzymywali zgięcie kończyny górnej do kąta rozwartego, co podczas biegu prawdopodobnie pozwoliło im na większą kontrolę jej ruchów i szybsze pokonanie płotka. Jednocześnie, wśród grupy studentów charakterystyczny był brak zgięcia w stawie łokciowym (kończyna wyprostowana) oraz utrzymanie takiej pozycji do momentu lądowania włącznie. Brak zgięcia w stawie łokciowym w literaturze związanej z metodyką biegów przez płotki jest uznawane za błąd (Komorowski, 2007). W badaniach Hyjek Młynarczyk nad oceną techniki ruchu kończyn górnych wykazano, że osoby, które nie miały styczności z biegami przez płotki utrzymywały wyprostowaną atakującą kończynę górną podczas pokonania płotka (Hyjek-Młynarczyk 2021).

Podczas ruchu atakującym ramieniem nie należy prowadzić i „odrywać” stawu łokciowego do tyłu, ponieważ skraca to moment bezwładności ramienia (względem dolnej kończyny atakującej) i powoduje zaburzenia równowagi (rotację ciała) (Schiffer 2012). Uzyskane w pracy wyniki dla ruchu w stawie ramiennym były zbliżone dla obu grup. Zarówno studenci jak i płotkarze wykonywali ruch zgięcia i odwodzenia w stawie ramiennym. Jest to zgodne z opisem ruchu Czwoźnóg i wsp (1993) oraz Studółka (2007). W momencie pozycji nad płotkiem płotkarze wykonują charakterystyczny ruch „sięgania” atakującą kończyną górną w przód, co jednocześnie jest kontynuacją ustawienia ramienia w momencie odbicia.

W momencie lądowania za płotkiem wykazano różnice międzygrupowe dla dwóch zmiennych. Zgięcie stawu łokciowego okazała się ponownie różnicować badane grupy. W przypadku studentów charakterystyczny w dalszym ciągu był brak zgięcia w stawie łokciowym. Dodatkowo wśród tej grupy badawczej wykazało tendencję do prostowania kończyny w stawie ramiennym. Takie ułożenie jest bardzo niekorzystne dla dalszego kontynuowania biegu oraz uważane jest za błąd. Zgadza się z tym m.in. McFarlane (2000) oraz Bedini (1988), twierdząc,

iz „uciekanie do tyłu” ramienia prowadzącego w momencie lądowania powoduje rotację tułowia i obręczy barkowej oraz utratę względną równowagi. Płotkarze w przeprowadzonych badaniach wykazali kąt rozarty dla zgięcia stawu łokciowego w momencie lądowania. Zaobserwowane różnice mogą świadczyć o większej umiejętności zaadaptowania własnych napięć mięśniowych przez płotkarzy. Dzięki temu zawodnicy są w stanie utrzymać stabilną postawę oraz kontrolować zgięcie w stawie łokciowym.

Przypuszcza się, że zmienna zgięcie stawu łokciowego jest kluczowa w ocenie techniki ruchu atakującej kończyny górnej. Badania własne wykazały różnice między badanymi grupami w każdym momencie pokonania płotka.

#### Kończyna górna zakroczna

Przeprowadzona w momencie odbicia analiza ruchu zakrocznej kończyny górnej pokazała podobieństwo między grupami dla dwóch zmiennych. Ruch ramienia zakrocznego w stawie ramiennym oraz na płaszczyźnie strzałkowej był zbliżony wśród badanych grup. Idąc za tym płotkarze i studenci ustawiali ramię poniżej osi stawu ramiennego oraz odwodzili i prostowali ramię. Jest to zgodne z opisem techniki zakrocznej kończyny górnej według Radiuk (1986); „zakroczna kończyna wykonuje nieznaczny ruch łokciem w tylny-dolny położenie, niezbyt daleko odchodząc w bok od tułowia”. Dodatkowo zauważono, iż obie zmienne dla których wykazano podobieństwo między badanymi, okazały się nie być istotne również w przypadku atakującej kończyny górnej. Należy zatem przyjąć, iż w momencie odbicia technika ruchu kończyn górnych ustawienie atakującej kończyny górnej podczas pokonania płotka w momencie odbicia było jest podobne dla obu badanych grup. Jednocześnie nie zależy od stażu treningowego oraz umiejętności technicznych badanych.

Różnice międzygrupowe wykazane dla zakrocznej kończyny górnej w momencie odbicia dotyczyły zgięcia w stawie łokciowym. W grupie studentów wyniki rozkładały się pomiędzy kątem rozartym, a brakiem zgięcia w stawie łokciowym. Podczas gdy większość płotkarzy przyjmowała kąt rozarty między ramieniem a przedramieniem.

Wyniki analizy międzygrupowej w momencie pozycji „nad płotkiem” ukazały ponownie różnice dla zgięcia stawu łokciowego kończyny zakrocznej. Większość studentów po raz kolejny charakteryzowała się brakiem zgięcia w stawie łokciowym. Przy czym zdecydowanie więcej płotkarzy kontynuowała zgięcie stawu łokciowego. Należy zatem na etapie nauczania techniki biegu przez płotki, zwrócić szczególną uwagę na zgięcie stawu łokciowego zakrocznej kończyny górnej. Dla pozostałych zmiennych w momencie pozycji „nad płotkiem”, ponownie wykazano podobieństwo między badanymi grupami. Studenci i płotkarze w większości wykonywali ruch prostowania i odwodzenia zakrocznej kończyny górnej oraz ponownie kierowali ramię poniżej osi

stawu ramiennego.

Najwięcej istotnych różnic spośród badanych grup wystąpiło w momencie lądowania. Przyjęte w powyższej pracy zmienne, względem których określano położenie zakroczonej kończyny górnej okazały się mocno różnicować badane grupy. Ciekawym wydaje się fakt, iż tylko w momencie lądowania położenie kończyny zakroczonej względem płaszczyzn strzałkowej i ruchu w stawie ramiennym okazało się różnicować istotnie obie grupy. Tym bardziej, że we wcześniejszych momentach pokonania płotka badani wykazywali podobieństwo. Należy zatem przypuszczać, iż moment lądowania jest kluczowy w ocenie techniki ruchu zakroczonej kończyny górnej. Tym bardziej, że wiele autorów m.in. Čoh (2004) w ocenie kinematycznej modelu biegu przez płotki wyróżnił moment lądowania za płotkiem jako czynnik wpływający na utratę prędkości poziomej płotka.

Uzyskany w pracy wyniki badań zweryfikowały strukturę ruchu kończyn górnych w biegach przez płotki wśród grup o zróżnicowanym poziomie zaawansowania. Technika ruchu kończyn górnych różnicuje istotnie obie grupy badawcze (grupę studentów i zawodników) głównie w momencie lądowania. Różnica dotyczy zarówno ruchu zakroczonej i atakującej kończyny górnej. Wyjątek stanowił ruch względem płaszczyzny strzałkowej atakującej kończyny górnej. Uzyskane przez nas wyniki jednoznacznie wykazały, iż zgięcie stawu łokciowego podczas trzech momentów pokonania płotka znacząco różni grupę płotkarzy od grupy studentów wychowania fizycznego. Wśród większości studentów widoczny był brak zgięcia w stawie łokciowym. Być może ma to bezpośredni związek z poziomem zaawansowania sportowego a tym samym poziomem zdolności motorycznych. Wyjaśnienia tej różnicy należy również dopatrywać się w lepszej organizacji pracy, która jest efektem doświadczenia zawodniczego, stażu treningowego lub osiągniętego poziomu sportowego. Dane te nie odbiegały znacząco od wyników badań Iskra i wsp. (2003) dotyczących ruchu w stawie łokciowym zakroczonej kończyny górnej. Badania analizy czynnikowej wykazały udział ruchu zakroczonej kończyny górnej w obydwu czynnikach techniki kroku płotkowego (I i II czynnik; 40,3% oraz 25,4% wariancji wspólnej). Zwrócili uwagę na ich szczególnie doskonale w procesie szkolenia, przy założeniu, że ruchy w tym stawie mają wysokie ładunki w obydwu czynnikach. Dlatego też prawidłowa praca zakroczonej kończyny górnej może stanowić ważny element w technice pokonania płotka łącząc jednocześnie właściwą synchronizację ruchów kończyn dolnych.



## **7.2. Analiza prędkości liniowych podczas ćwiczeń specjalistycznych- marsz przez płotki.**

W większości badań naukowych o wysokim poziomie wyników w biegach płotkarskich decyduje przygotowanie sprawnościowe (zwłaszcza w zakresie szybkości, wytrzymałości biegowej oraz siły o charakterze dynamicznym), jak również skuteczność techniki pokonywania płotków (Jarver 1997, Iskra i Mynarski 2000, Iskra 2001, 2003, Lee 2004, Amritpla 2015). Budowanie właściwej techniki powinno skupiać się przede wszystkim na pracy nad koordynacją ruchową oraz osiągnięciu wysokiego poziomu zdolności siłowo- szybkościowych. Iskra (2000) uważa, że bieg przez płotki to wyjątkowy związek przygotowania motorycznego, technicznego i psychicznego, powiązany z specyficznym dla tej konkurencji „rytmem” płotkarskim. Wszystkie te elementy muszą być wypracowane w sposób zbilansowany, dopasowany do każdego zawodnika indywidualnie. Według Gasilewski (2011) kształtowanie i doskonalenie sposobu lub inaczej - techniki pokonywania płotka jest określane za pomocą terminu „sprawność specjalna płotkarza”. Sprawność specjalna spełnia rolę „zaprawy”, łącząc w jeden zespół wszystkie czynniki wpływające na wynik w biegu przez płotki. Analizy kinematyczne dotyczą najczęściej warunków ściśle związanych z techniką podczas rozgrywania konkurencji płotkarskich. Rzadziej konkretnych ćwiczeń przeprowadzanych w okresie przygotowawczym lub bezpośredniego przygotowania startowego (Grimshaw 1994, Iskra i wsp. 2000, Przednowek i wsp. 2016). By skutecznie pokonać płotek i opanować „specyficzną” technikę, zawodnik powinien opanować podstawowe ćwiczenia specjalistyczne. Zalicza się do nich między innymi marsz przez płotki. Jednym z elementów technicznych, na które należy zwrócić uwagę podczas szkolenia płotkarzy są kończyny górne. Jest to ważny element techniki pokonania przeszkód, zwłaszcza podczas ćwiczeń w marszu (Iskra i Przednowek 2008a).

Aktualna literatura przedmiotu jest uboga w temacie badań naukowych z uwzględnieniem pomiarów kinematycznych kończyn górnych. Jednak dostępne wyniki w większości są spójne z wynikami niniejszej pracy. Przeprowadzone badania nie wykazały istotnych różnic w prędkości dla poszczególnych segmentów kończyny górnej zakroczonej wśród wykwalifikowanych płotkarzy (bez względu na wybór kończyny dolną atakującą płotek). Jedyne istotne różnice dla średnich prędkości odnotowano dla kończyny górnej atakującej. Różnice odnotowano w momencie odbicia i pozycji „nad” płotkiem dla segmentu obręczy barkowej oraz dla segmentu ramienia tylko w momencie pozycji „nad” płotkiem. Dodatkowo większość badanej grupy uzyskała wyższe średnie prędkości kończyny górnej atakującej w przejściu przez płotek dominującą kończyną dolną. Podobnie wykazano w najnowszych badaniach dotyczących oceny prędkości liniowych wybranych segmentów kończyn górnych, iż w większości przypadków próba na dominującą

kończynę dolną charakteryzowała się większymi prędkościami w analizowanych momentach pokonania płotka w marszu ( Iskra i wsp., 2017a). Zauważono, również niewielkie spadki prędkości w porównaniu obu kończyn dolnych dla segmentu ramienia i przedramienia kończyny atakującej podczas momentu pozycji „nad” płotkiem. Podobny charakter przyjmowały wyniki w naszych badania. Prócz tego niezależnie od wyboru kończyny dolnej zauważono, że dla większości segmentów atakującej kończyny górnej średnie prędkości były najwyższe na początku pokonania płotka (moment odbicia). Na uwagę zasługują wyniki prędkości zakroczonej kończyny górnej. W obu pracach badawczych zauważono spadek prędkości w przejściu na dominującą kończynę dolną dla segmentu przedramię i dłoń zakroczonej kończyny. Dodatkowo największe różnice w prędkości ruchu kończyn górnych odnotowano dla prędkości dłoni kończyny górnej zakroczonej podczas momentu lądowania. Na ten element zwracają również uwagę trenerzy (McFarlane 2000). Równocześnie należy wziąć pod uwagę, słabość propozycji Iskra i wsp., którą sam autor uznaje jako realne ograniczenie. Jest to minimalna ilość osób badanych (2 osoby), co niejednokrotnie w biegach płotkarskich stanowi potencjalny problem do wyciągania nieprecyzyjnych wniosków.

W innej pracy Iskra i wsp. (2003), uwzględniono przebiegi czasowe zmiany katów względnych w czasie następujących stawów m.in. barkowym i łokciowym ręki atakującej i zakroczonej. Udowodniono ścisły związek ruchu kończyny dolnej atakującej płotek z pracą przeciwnej kończyny górnej (staw łokciowy ramienia atakującego). Przeprowadzona analiza czynnikowa potwierdziła intuicyjne działania szkoleniowców, zwracających wielokrotnie uwagę na fakt, iż ruch ręki atakującej ma istotne znaczenie w prawidłowym położeniu górnej części ciała w pozycji odbicia.

Według Winckler praktyka biegów płotkarskich prędkość obu ramion musi pokrywać się z prędkością nogi prowadzącej (Winckler, 2000). Ciężko się z tym zgodzić, biorąc pod uwagę wyniki prędkości linowej, które zostały wyliczone niniejszej pracy oraz w artykule Iskra i wsp. (2019b). Autor ocenił przebiegu ruchu i wybrane parametry kinematyczne kończyn dolnych podczas marszu i bieg. Analiza obejmowała ruch uda, tułowia, prędkość stawu kolanowego i kąt jego zgięcia w przejściu przez płotki na dominującą oraz „słabszą” (przeciwną) kończynę dolną. Autorzy stwierdzili, iż prędkość stawu kolanowego nie różni się istotnie podczas wykonywania ćwiczeń w marszu na obie kończyny dolne. Otrzymane średnie wyniki dla kończyny dolnej atakującej płotek dotyczyły prędkości stawu kolanowego, a w przypadku naszych badań poszczególnych segmentów kończyny górnej. Dlatego nie możliwe jest ich porównanie. Poza tym prędkości liniowe były różne dla kończyny górnej atakującej i zakroczonej.

Dodatkowych informacji dostarczała również analiza trajektorii ruchu podczas ćwiczeń

płatkarskich. Tematykę trajektorii ruchu kończyn dolnych podczas marszu i biegu przez płotki podjął Iskra i wsp. (2019b). Badania ukazały, iż trajektoria ruchu kończyny atakującej płotek była zupełnie inna. Podczas ćwiczeń w marszu „słabsza” kończyna dolna wyprzedzała ten sam ruch co dominująca kończyna dolna, tym samym przeszkoda została pokonana z większej odległości od płotka i zakończył się bliżej za płotkiem. Odwrotny charakter zaobserwowano dla kończyn górnych w powyższej rozprawie. W przypadku segmentów atakującej kończyny górnej wykres trajektorii ruchu podczas pokonania płotka dominującą kończyną dolną rozpoczynał się i kończył szybciej. Dotyczyło to każdego momentu pokonania płotka. Dodatkowo analiza statystyczna potwierdziła różnice w prędkości liniowej głównie dla segmentu obręcz barkowa i ramię. Dla segmentów zakroczonej kończyny górnej ruch był podobny, bez względu na wybór kończyny dolnej atakującej płotek. Wskazywały na to również średnie prędkości, dla których nie wykazano istotnych statystycznie różnic. Można zatem przyjąć, że podczas ćwiczeń specjalnych - marsz przez płotki, wybór kończyny dolnej atakującej płotek ma wpływ na technikę ruchu kończyny górnej atakującej. Konkluzją doniesienia Iskra i wsp. było stwierdzenie, iż „ocena techniki wykonywania określonych ćwiczeń dotyczy parametrów przestrzennych (kąt zgięcia stawu kolanowego), a nie parametrów czasowych (w tym przypadku prędkości kolana). Dlatego też rozwinięcie tematu analizy kończyn górnych z uwzględnieniem parametrów przestrzennych wydaje się uzasadnione. Na istotę ćwiczeń specjalnych w marszu i w biegu zwracają również uwagę McFarlane (1988) oraz Iskra (1998) przypisując im rolę doskonalenia koordynacji ruchu nogi atakującej z pracą kończyn górnych.

### **7.3. Parametry przestrzenne kończyn górnych podczas pokonania płotka w aspekcie czterech wariantów biegu przez płotki.**

Biegi przez płotki to złożone wydarzenie sportowe, w którym technika i przygotowanie motoryczne są równie ważne (Boyd 2000, McFarlane 2000). Technika stosowana podczas biegów przez płotki jest istotnym elementem przygotowania sportowców do udziału w zawodach (Iskra, 2012b). Jak już wcześniej wspomniano w niniejszej pracy najczęściej analizowanym elementem biegu przez płotki jest pokonanie płotka tzw. „krok płtkowy” (ang. „*hurdle clearance*”) (Čoh, 2003, 2008, McDonald 2003). Celem tego fragmentu biegu jest takie ułożenie ciała nad płotkiem, by straty prędkości i wahania środka ciężkości ciała w pionie były jak najmniejsze.

Spośród licznych badań naukowych mających na celu rozwój wyników w tej technicznej grupie konkurencji, należy wyróżnić analizy biomechaniczne, w szczególności pomiary kinematyczne. Ocena techniki płtkarskiej na dystansach o długości 400 m jest trudna do analizy kinematycznej pod względem struktury ruchu. Pozostaje również wysoce ukierunkowana na

badania w kierunku analiz ruchu kończyn dolnych. Prowadzenie i organizacja badań podczas zawodów (ustawienie płotków na różnych torach), zmiany kierunku biegu (proste i wiraże), wybór kończyny dolnej atakującej płotek oraz nieprzewidywalne zmiany w sposobie pokonania płotka wynikające ze wzrostu zmęczenia wymagają pewnych pośrednich (niekonkurencyjnych) środków do analizy ruchu. Dlatego w niniejszej rozprawie skupiono się na stworzeniu optymalnych warunków, by podjąć próbę przeprowadzenia analizy kinematycznej kończyn górnych.

W pracy Krzeszowski i wsp. (2016), przeanalizowano czternaście parametrów kinematycznych podczas dwóch prób biegu przez płotki. Niestety wśród nich nie wystąpiły parametry zgodne z tematyką niniejszej rozprawy związanej z ruchem kończyn górnych. Jedyna zmienna, wspólna dla obu prac badawczych to; odległość środka ciężkości do płotka. Według autora zmienna ta należy do podstawowych parametrów wskazujących zmiany w technice podczas wzmożonego zmęczenia. Analiza porównawcza biegu w pełni sił i biegu pod wpływem zmęczenia wykazała, iż w pierwszych dwóch momentach parametr ten maleje w przypadku większości zawodników, natomiast w momencie kontaktu stopy z podłożem za płotkiem i kontynuowania biegu znacznie wzrasta. Uzyskane w pracy wyniki badań ujawniły, że odległość środka ciężkości do płotka również maleje ale podczas biegów, w których pokonanie płotka nastąpiło na prawą kończynę dolną. Natomiast w ostatnich momentach pokonania płotka, parametr wzrastał częściej w biegach na lewą kończynę dolną. Mimo zbliżonych wniosków, należy zwrócić uwagę, iż w przypadku przedłożonej pracy porównawczej, autorzy nie określili kończyny dolnej, którą zawodnik pokonywał płotek podczas próby. Na podstawie wyników obecnej dysertacji można stwierdzić, że wzmożone zmęczenie nie wpływa istotnie na zmienną parametru odległość środka ciężkości od płotka podczas pokonania płotka dominującą kończyną dolną (lewą), a jest istotne dla ostatniego momentu pokonania płotka w ataku prawą kończynę dolną. Dane te potwierdzają intuicyjne spostrzeżenia praktyków sportu, a także kilka wcześniejszych analiz dotyczących wpływu zmęczenia na technikę biegów na dystansie 400m przez płotki (Schwartz i wsp. 1990, Guex 2012).

Kolejną zmienną, którą poddano analizie była odległość od środka ciężkości do poszczególnych segmentów kończyn górnych. Zaobserwowano znaczące wyniki dla segmentów ramię i przedramię zarówno dla kończyny atakującej jak i zakroczonej. W powyższej dysertacji największa ilość istotnych różnic wystąpiła w trzecim wariacie biegu przez płotki. Różnice dotyczyły wyników porównania pokonania płotka w pierwszych próbach biegu w pełni sił do podjęcia wysiłku na prawą oraz lewą kończynę dolną. Ciekawy wydaje się fakt, iż w przypadku kończyny zakroczonej istotne zmiany wśród płotkarzy występowały tylko w trzecim lub czwartym wariacie biegu przez płotki. To oznacza, że w obu próbach na jednoimienną kończynę dolną

zmęczenie nie wpłynęło znacznie na odległość segmentów kończyny zakroczonej od środka ciężkości. Dopiero zmiana kończyny dolnej atakującej płotek, wpłynęła istotnie na wyniki omawianej zmiennej. Odległość przedramienia i ramienia kończyny zakroczonej dla większości momentów była większa podczas pokonania płotka lewą kończyną dolną .

Nieco odmienny charakter przyjmują wyniki dla ramienia i przedramienia kończyny górnej atakującej. W przypadku, której istotne różnice występowały najczęściej w pierwszym i trzecim wariancie biegu przez płotki. W momentach, w których analiza wykazała istotne różnice, zauważono mniejszą odległością środka ciężkości podczas biegów w pełni sił. Świadczy to o tym, iż zmęczenie mogło być powodem zwiększenie odległości wybranych segmentów górnej kończyny atakującej podczas biegów na dominującą kończynę dolną (lewą). Dodatkowo parametr ten w momencie lądowania okazał się najczęściej różnicować płotkarzy. Badania wykazały, zwiększoną odległość w drugiej próbie biegu bez względu na wybór kończyny dolnej. Z przeprowadzonej analizy można wnioskować, iż moment lądowania może być istotny dla zachowania względnie prawidłowej techniki atakującej kończyny górnej podczas pokonania płotka dominującą kończyną dolną. Podobnie uważa Iskra i Bacik (1999) przyjmując, że moment lądowania ma szczególne znaczenie podczas drugiej części biegu, kiedy zawodnik jest już zmęczony. Błędy wynikające z braku synchronizacji kończyn górnych i dolnych są szczególnie widoczne bez względu na wybór kończyny dolnej atakującej płotek.

Zaskakujące są wyniki dla segmentu dłoni obu kończyn górnych, dla których analiza nie wykazała istotnych różnic. Jest to bardzo interesujące, ponieważ dłoń stanowi dystalną część kończyny górnej i wydaje się, że powinna cechować się największym zróżnicowaniem wśród badanych osób. Jedyne znaczące różnice wystąpiły dla segmentu dłoni kończyny zakroczonej w momencie przygotowania do odbicia. Odległość segmentu dłoni do środka ciężkości w analizie porównawczej biegów po 1 minucie była mniejsza podczas pokonania płotka lewą kończyną dolną.

Jednym z kolejnych aspektów niniejszej pracy, były zmienne związane z rotacją względem trzech osi dla poszczególnych segmentów kończyn górnych. Analiza zmiennych przestrzennych wykazała najwięcej istotnych różnic dla rotacji względem osi  $x$ . Większość wykazanych różnic wystąpiła w trzecim i czwartym wariancie biegu przez płotki. Różnice dotyczyły ramienia kończyny górnej zakroczonej i atakującej.

#### Kończyna górna zakroczonej

Uzyskane w niniejszej dysertacji wyniki wskazują, iż w każdym momencie rotacja ramienia zakroczonego względem osi  $x$  zależy od kończyny dolnej atakującej płotek. Wykazane różnice dotyczą porównania lewej kończyny dolnej z prawą podczas biegów w pełni sił do

podjęcia wysiłku oraz biegów po 1 minucie przerwy. Płotkarze wykazali zwiększoną rotację względem osi  $x$  dla segmentu ramienia kończyny zakroczonej podczas atakowania płotka prawą kończyną dolną we wszystkich momentach pokonania płotka. Analiza zakresu ruchu w biegach na lewą kończynę dolną wykazała duże zróżnicowanie dla większości momentów pokonania płotka. Zauważono zdecydowanie większy zakres ruchu w biegach po 1 minucie przerwy. Świadczyć to może bezpośrednim wpływem zmęczenia na zakres ruchu zakroczonej kończyny górnej. Być może jest to cenna informacja dla trenerów prowadzących proces szkolenia płotkarskiego.

Dla pozostałych rotacji względem osi  $y$  i  $z$ , analiza wykazała tylko kilka istotnych różnic, które nie były tak jednoznaczne w interpretacji jak wyniki względem rotacji  $x$ . W przypadku rotacji ramienia kończyny zakroczonej względem osi  $y$  istotne statystycznie różnice wykazano jedynie w momencie pozycji „nad płotkiem” w obu biegach na lewą kończynę dolną. Zatem należy przyjąć, iż ruch zakroczonej kończyny górnej jest podobny podczas pokonania płotka bez względu na wybór atakującej kończyny dolnej oraz następującego w czasie biegu na 400m przez płotki zmęczenia. Jednocześnie zaobserwowano, iż w pierwszych dwóch momentach dla większości biegów przez płotki zakres ruchu jest bardzo zbliżony. Oznacza to, że w momencie przygotowania do odbicia i samego odbicia przed płotkiem zakres zakroczonego ramienia jest podobny i nie zależy od kończyny dolnej atakującej płotek.

Ruchy rotacyjne względem osi  $z$  okazały się być istotne statystycznie również w momencie pozycji „nad płotkiem” w biegach na prawą kończynę dolną. Dodatkowo wykazano różnice w momencie odbicia w analizie porównawczej przeciwnych kończyn dla biegów w pełni sił. Uzyskane wyniki ukazały również, że rotacja zakroczonego ramienia względem osi  $z$  tylko w momencie przygotowania do odbicia osiąga bardzo zbliżone wyniki. Podobieństwo było widoczne w biegach na jednoimienną kończynę dolną. Ciekawym wydaje się również brak różnicy zakroczonego ramienia między biegiem na lewą i prawą kończyną dolną po 1 minucie przerwy. Podobieństwo było widoczne od momentu pozycji „nad płotkiem” do końca pokonania płotka.

Rotacja wokół osi  $z$  zachodziła również dla kolejnego segmentu kończyny zakroczonej- przedramię. Ponownie wykazano, statystycznie istotne różnice w przypadku momentu odbicia. Z tym wyjątkiem, iż w przypadku przedramienia, biegi na lewą kończynę dolną okazały się najbardziej różnicować badaną grupę. Dlatego w przypadku rotacji kończyny górnej atakującej wokół osi  $z$ , właściwe wydaje się zwrócenie uwagi na moment odbicia.

Iskra i wsp. (2003) wyodrębnili czynnik „ruchu nogi zakroczonej (25,4% wariacji wspólnej), dla którego główny udział miały m.in. obydwie stawy łokciowe. Przedstawiono,



iż zmienny kierunek kończyny górnej w czasie od pozycji „nad płotkiem” do momentu lądowania to podstawowy element techniki pokonania płotka.

### Kończyna górna atakująca

Jak wspomniano wcześniej rotacja względem osi  $x$  była istotnie różna dla ramienia atakującej kończyny górnej. Większość wykazanych różnic wystąpiło w trzecim i czwartym wariacie biegu przez płotki. Dla rotacji ramienia atakującego wyniki nie były tak jednoznaczne jak w przypadku zakrocznego ramienia, dla którego średnie wartości kątowe były wyższe w biegach na prawą kończynę dolną. Zauważa się, że płotkarze wykazują zwiększoną rotację względem osi  $x$  dla segmentu ramienia kończyny zakrocznej podczas biegu w pełni sił do podjęcia wysiłku. Zależność dotyczy tylko atakowania płotka lewą kończyną dolną we wszystkich momentach pokonania płotka. Dodatkowo dla większości biegów zauważono, iż w momencie odbicia i pozycji „nad płotkiem” zakres ruchu jest podobny i przyjmuje najwyższe wartości.

W przypadku rotacji ramienia kończyny atakującej względem osi  $y$  istotne statystycznie różnice wykazano w momencie pozycji „nad płotkiem”. Różnica dotyczyła porównania lewej kończyny dolnej z prawą zarówno w biegach w pełni sił oraz w biegach po jednej minucie przerwy. Należy zatem zwrócić szczególną uwagę na moment pozycji „nad płotkiem”, tym bardziej, iż dla zakrocznej kończyny górnej różnice wystąpiły również w tym momencie. Dodatkowo wyniki ukazały, iż ruch rotacyjny zakrocznego ramienia względem osi  $y$  tylko w momencie lądowania przyjmuje te same wartości kątowe. Podobieństwo było widoczne w porównaniu biegów na jednoimienną kończynę dolną. Oznacza to, że rotacja ramienia atakującego nie zmienia się pod wpływem zmęczenia w momencie lądowania za płotkiem.

Ruch ramienia atakującego względem osi  $z$  wykazał różnice w momencie przygotowania do odbicia. Różnice w ruchu można było zaobserwować w obu biegach na lewą kończynę dolną oraz dla porównania biegów w pełni sił na różne kończyny atakujące płotek.

Rotacja wokół osi  $z$  zachodziła również dla segmentu przedramienia kończyny atakującej. Zauważono, statystycznie istotne różnice w tych samych wariantach biegów przez płotki jak w przypadku ramienia. Z tym wyjątkiem, iż w przypadku przedramienia, moment lądowania okazał się najbardziej różnicować badaną grupę. Ponownie zauważa się, iż średnie wartości kątowe dla biegu w pełni sił do podjęcia wysiłku były niższe podczas w biegach na lewą kończyną dolną, jak również w porównaniu do pokonania płotka prawą kończyną dolną.

Średnie wartości dla rotacji wokół osi  $z$  dla atakującej kończyny górnej w większości biegów były podobne, zatem należałoby zwrócić szczególną uwagę na dwa momenty pokonania płotka tj.: przygotowanie do odbicia i lądowanie.



Rotacja względem osi  $x$  może być kluczowa w procesie doskonalenia techniki płotkarskiej oraz osiągnięcia lepszych rezultatów przez zawodników. Informacja o zależności ruchu kończyn górnych od wyboru kończyny atakującej płotek, powinna skupić uwagę zawodników i trenerów, ponieważ wybór kończyny atakującej płotek na dystansie 400m przez płotki jest ważny dla strategii tempa biegu. Ma to potwierdzenie w wielu badaniach m.in. Winklera (2000), Guexa (2012), Iskra (2019).

Pamiętać należy, że w sporcie najważniejszym kryterium oceny techniki ruchu jest wynik sportowy, chociaż technikę można oceniać na podstawie innych arbitralnie przyjętych kryteriów (Fidelus, 1970,1994). Wpływ różnych elementów techniki na wynik sportowy można badać stosując metodę analizy pseudowrażliwości parametrycznej rozwiązań równań ruchu (Wychowański, 2008). Trenerzy i zawodnicy najczęściej praktycznie oceniają wpływ elementów techniki na wynik sportowy co jest trudne, pracochłonne i często kończy się niepowodzeniem. Zmienne czasowo- przestrzenne pokonania płotka, a zwłaszcza parametry dotyczące kończyn dolnych są najlepiej zbadaną dziedziną działalności ruchowej płotkarzy. Przebiegi sił reakcji podłoża, kąty stawowe, przemieszczenia środka masy ciała itp. dla zawodnika podczas kroku płotkowego są dobrze znane, a ich ocena nie przysparza obecnie trudności. Wyniki uzyskane w powyższej dysertacji dotyczącej kluczowej roli kończyn górnych w biegach przez płotki nie są jednoznaczne. Dokładna rola i znaczenie ruchu kończyn górnych w celu poprawy skuteczności techniki pokonania płotka wymaga dalszych badań potwierdzających działania zastosowanych metod (ćwiczeń specjalnych) w treningu płotkarzy.

## 8. Podsumowanie i wartości aplikacyjne

W biegach sprinterskich przez płotki technika ruchu kończyn górnych różnicuje studentów wychowania fizycznego oraz wyczynowych zawodników. Wyniki analiz wskazują, iż w momencie lądowania badane grupy różnią się najczęściej. Różnica w technice ruchu jest widoczna dla kończyny górnej atakującej oraz zakroczonej. Jedyne podobieństwo pomiędzy grupami stanowi ruch kończyny górnej atakującej na płaszczyźnie strzałkowej w momencie lądowania za płotkiem. Niezależnie od poziomu zaawansowania sportowego badane osoby wykazują w tym momencie tendencję do kierowania ramienia poniżej osi stawu ramiennego.

Zmienną, która najczęściej różnicuje badane grupy jest zgięcie stawu łokciowego. Dotyczy to obu analizowanych kończyn górnych we wszystkich trzech momentach pokonania płotka. Dla większości momentów pokonania przeszkody studenci wykonują ruch prostowania w stawie łokciowym, co prowadzi do utrzymania wyprostowania kończyny górnej.

W przypadku analizy prędkości liniowej poszczególnych segmentów kończyn górnych, płotkarze wykazują w większości wyższe prędkości w marszu przez płotki na dominującą kończynę dolną. Podczas pokonania płotka w marszu przez płotki następuje wzrost prędkości liniowej z każdym kolejnym momentem pokonania płotka, niezależnie od wyboru kończyny dolnej atakującej płotek. Dotyczy to wszystkich segmentów kończyny górnej zakroczonej. Kończyna górna atakująca wykazuje wzrost prędkości podczas pokonania płotka tylko dla segmentu obręcz barkowa i dłoń. Niezależnie od wyboru kończyny dolnej atakującej płotek, różnice w prędkości liniowej zakroczonej kończyny górnej są niewielkie.

Przebieg ruchu dla kończyny górnej atakującej jest zdecydowanie szybszy w przejściu na dominującą kończynę dolną. Dowodzi temu przykładowa analiza trajektorii ruchu kończyny górnej atakującej. Przebieg ruchu dla wszystkich segmentów (ramię, przedramię i dłoń) rozpoczyna się i kończy szybciej. Trajektorja ruchu kończyny górnej zakroczonej bez względu na wybór kończyny dolnej atakującej płotek w ćwiczeniu marsz przez płotki wygląda podobnie. Segment dłoń kończyny atakującej wykazywał największe zróżnicowanie w zależności od wyboru kończyny dolnej atakującej płotek.

W niniejszej pracy dokonano oceny ruchu kończyn górnych w zależności od wyboru kończyny dolnej atakującej płotek oraz od próby biegu przez płotki. Do najbardziej istotnych wyników niniejszej pracy należy, wykazanie wyższych wyników dla większości momentów pokonania płotka w biegach na prawą kończynę dolną atakującą płotek. Wyniki dotyczyły w szczególności porównania biegów po 1 minucie przerwy. Udowodniono tym samym słusność wyboru lewej kończyny dolnej w pokonaniu płotka w biegu na wirażu.

Wyniki przeprowadzonych analiz, mających związek z techniką ruchu kończyn górnych posiadają znaczenie nie tylko poznawcze ale również aplikacyjne. Praktyczne wykorzystanie wyników badań ma znaczenie nie tylko w procesie nauczania w grupie studentów, ale również pośrednio w procesie treningowym. Badania ukazały, że ruch kończyn górnych jest ważnym elementem w procesie budowania mistrzostwa sportowego w biegu przez płotki. Przeprowadzone badania pomogą zawodnikom jak również szkoleniowcom zrozumieć wpływ zmęczenia na technikę ruchu kończyn górnych. Jednocześnie mogą być pomocne przy tworzeniu ogólnego modelu pokonania płotka. Znajomość tego faktu ma istotne znaczenie w procesie treningowym na każdym etapie specjalizacji biegów przez płotki. Należy również podkreślić rolę ogólnego przygotowania motorycznego szczególnie w zakresie ćwiczeń specjalnych na płotkach, które stanowią podłoże właściwej techniki.

## 9. Wnioski

Analiza wyników badań przeprowadzonych wśród grup o różnym poziomie zaawansowania umożliwiła sformułowanie następujących wniosków:

1. Zmiany techniki ruchu kończyn górnych podczas biegu sprinterskiego przez płotki, różnią się w grupie studentów wychowania fizycznego i wyczynowych zawodników. Technika ruchu obu kończyn górnych różnicuje obie grupy badawcze w momencie lądowania. Zmiany zgięcia stawu łokciowego dla zakroczonej i atakującej kończyny górnej różnicują badane grupy we wszystkich trzech momentach pokonania płotka.
2. Podczas ćwiczeń specjalistycznych wykonywanych w marszu wybór kończyny dolnej ma wpływ na parametry kinematyczne kończyn górnych. W większości przypadków marszu przez płotki próba na dominującą kończynę dolną charakteryzowała się większymi prędkościami we wszystkich analizowanych momentach.
3. Do najbardziej istotnych zmian ruchu kończyn górnych podczas pokonania płotka w dwóch próbach biegu na jednoimienną kończynę dolną należy parametr rotacja wokół osi x. Płotkarze uzyskują mniejsze zmiany kątowe dla ramienia obu kończyn górnych podczas wyboru lewej kończyny dolnej atakującej płotek (kończyna dominująca).

## Piśmiennictwo

1. Adrian M.J., Cooper J.M. (1995) *Biomechanics of Human Movement*. (2<sup>nd</sup> edition), Brown & Benchmark, Madison, WI
2. Amara S., Mkaouer B., Chaabene H., Negra Y., Hammoudi-Riahi S., Ben-Salah F. (2017). Kinetic and kinematic analysis of hurdle clearance of an African and a world champion athlete: A comparative study. *South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation*, 39(2): 1 – 12.
3. Amritpal S.S., Shamshe S.J.B. (2015). Relationship among the Technique of Hurdle Clearance Over the Different Hurdles in 110 m Race. *International Journal of Science and Research*, vol. 4, (10);1591–1594.
4. Arnold M. (1992). *Hurdling*. British Athletic Federation, London.
5. Artiuszenko A., Blięglecow A. (1975). Bariery i klasa. *Legkaja Atletika* 9:14.
6. Ballesteros (1992). *Manual Didáctico del Atletismo*. Edited by the IAAF London.
7. Balsalobre-Fernández C, Tejero-González CM, Campo-Vecino Jd, Alonso-Curiel D. (2013). The effects of a maximal power training cycle on the strength, maximum power, vertical jump height and acceleration of high-level 400-meter hurdlers. *Journal of Human Kinetics*. 36, (1): 119–126.
8. Bartlett R. (2009). *Introduction to sports biomechanics. Analysing human movement patterns*. Routledge Taylor & Francis Group, London and New York.
9. Bartlett R. (1999) *Sports Biomechanics: Reducing Injury and Improving Performance*. E & FN Spon, London.
10. Bedini R. (1988). i 110 m e 100 m ostacoli. Biomeccanica del passaggio degli ostacoli ed esercitazioni per l'apprendimento dei movimenti tecnici fondamentali. *Atleticastudi*, nr 3-4, s. 479-520.
11. Billouin A. (1985). *Athletisme. Les courses de haies*. Editions Robert Laffont, S.A., Paris, 77-122.
12. Błażkiewicz M., Mastalerz A., Urbanik Cz. (2007). Próba matematycznego opisu niektórych parametrów kinematycznych biegu przez płotki, w szczególności kroku płotkowego. W; (red. Cz. Urbanik) *Biomechanika ruchu*. Wybrane zagadnienia. AWF, Warszawa, 29-40.
13. Bober T. (2000). Technika sportowa – główny przedmiot badań biomechaniki sportu. *Sport Wyczynowy*, 9/10: 55–64.
14. Bollsweiler L.R. (2007). *A biomechanical analysis of male and female intermediate hurdlers and steeplechasers*. Brighton Young University, Brighton.
15. Boyd R., (2000). Components of the 400 m hurdles. *Track Coach*, 151: 4822-4825.
16. Boxall, P. (1993). The significance of human resource management: a re-consideration of the evidence. *International Journal of Human Resource Management*, 4 (3); 645-664
17. Brejzer W., Kajtmazowa J. (1979). Bieg R. Nehemiaha. *Legkaja Atletika* 1: 14-15.
18. Brejzer W. (1986). Na distancii S. Busch. *Legkaja Atletika* 10: 16-17.
19. Carr G. (1997) *Mechanics of Sport. Human Kinetics*, Champaign, IL.
20. Chow J.W. (1993). A planning videographic technique to obtain selected kinematic characteristics of the strides in sprint hurdling. *Journal of Applied Biomechanics*, 9, (2); 149-159.

21. Chow J.W. (1998). A panning videographic technique to obtain selected kinematic characteristics of the strides in sprint hurdling. *Journal of Applied Biomechanics*, 9, 149-159.
22. Čoh M., Jost B., Skof B. (2000). Kinematic and dynamic analysis of hurdle clearance technique. [w]: (ed.: Y. Hong), Proceedings of 18<sup>th</sup> International Symposium on Biomechanics in Sports. Hong Kong: Department of Sports Science and Physical Education, The Chinese University of Hong Kong, pp. 236-239.
23. Čoh M. (2003). Biomechanical analysis of Colin Jackson's hurdle clearance technique. *New Studies in Athletics*; 1: 33-40.
24. Čoh M. (2004). Biomechanical analysis of 110 m hurdle clearance technique. *Modern Athlete and Coach* 42, 4, 4-8.
25. Čoh M., Dolenc A., Tomazin K., Zvan M. (2008). Dynamic and kinematic analysis of the hurdle clearance technique. W: Čoh M., editor. *Biomechanical Diagnostic Methods Athletic Training*: 109-16.
26. Čoh M., Iskra J. (2012). Biomechanical studies of 110 m hurdle clearance technique. *Sport Science* 5 (1):10-14
27. Čoh M., Bončina N., Štuhec S., Mačkala K. (2020). Comparative Biomechanical Analysis of the Hurdle Clearance Technique of Colin Jackson and Dayron Robles: Key Studies. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. 1-10. (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)
28. Coly (2011). Le 110 mètres haies : Analyse de la vitesse d'approche, du franchissement, de la reprise, de la course inter- obstacle et de leur relation avec la performance
29. Comstock B., (1924). *How to hurdles*. New York: American Sport.
30. Cowburn S. (2006). Coaching Hurdles. A progressive guide for coaching a junior novice to accomplished athlete. Retrieved from <http://www.coachingcentral.com/2017/01/12>
31. Czwornóg W., Dobczyński L., Obrocka K. (1993). Bieg przez plotki. In (ed. Zienkiewicz W.) *Lekka Atletyka*. AWF, Warszawa, 84-102.
32. Deutscher, J., Reid, I.: Articulated Body Motion Capture by Stochastic Search, *Int. Journal of Computer Vision*, vol. 61, (2) 185-205, 2005.
33. Dudziński E., Red.; Bukowiec M., Figwer U., Kruczalak E., Mleczko A., Poloński B. (1977). *Lekka atletyka: technika, metodyka nauczania, trening: praca zbiorowa*. AWF Kraków.
34. Dworak L.B., Iskra J., Kołaczkowski Z., Mączyński J. (1998). *Dynamika odbicia i lądowania w biegu przez plotki* (The dynamics of take-off and landing in hurdles). *Biology of Sport* 15, 8, 81-86.
35. Elliott B., Bartlett R. (2006). *Sports Biomechanics: Does it Have a Role in Coaching?* *International Journal of Sports Science & Coaching* 1, (2); 117-183.
36. Elliott B. (1999) *Training in Sport*. Chicester, Wiley.
37. Erdmann W.S. (2006). *Metody obrazowe. Badanie techniki, taktyki, czasu i dystansu w sporcie od prehistorii do XXI wieku*. *Akademia Wychowania Fizycznego i Sportu Gdańsk*.
38. Fidelus K. (1972). Próba ustalenia podstawowych czynników motorycznych wpływających na rezultat sportowy. *Roczniki Naukowe AWF, Warszawa*, t. 16, PWN, Warszawa.

39. Gasilewski (2009). *Efektywność biegu przez płotki o różnej wysokości oraz jej uwarunkowania morfologiczne i motoryczne*. Rozprawa doktorska. AWF Katowice.
40. Gasilewski J., Iskra J. (2011). Efekty nauczania biegu przez płotki w aspekcie treningu motorycznego i technicznego. *Antropomotoryka*: 21 (53), 49-54.
41. Guex K. (2012). Kinematic Analysis of the Womanis 400m Hurdles. *New Studies in Athletics* 27: 1/ 2; 41-61.
42. Godik M., Szałmanow A., Połtorapawłow N. (1993). Srawnitelnyj analiz kinematyki sprinterskowo i bariernowo biega djesiatiborcew i legkoatletow- specjalistow. *Teoria i Praktika Fiziczeskoj Kultury*, 2,39-43
43. Grimshaw P. (1994). Biomechanical analysis of sprint hurdles. *Athletics Coach* 4:10- 12.
44. Grimshaw P., Marar L., Salo A., Longden B., Vernon J. (1997). A kinematic analysis of sprint hurdles training strategies (isolation drills). In: J. Jarver (Ed.), *The hurdles. Contemporary theory, technique and trenining*. Muntain View (Cal.): 3<sup>rd</sup> ed. Tafnews Press, pp. 67-72. Also: *Athletics Coach* (29), 4: 24-28.
45. Hajduk G., Nowak K., Sobota G., Kusz D., Kopeć K., Błaszczak E., Cieliński Ł., Bacik B. (2016) Kinematic gait parameters changes in patients after total knee arthroplasty: comparison between cruciate-retaining and posterior-substituting design. *Acta of Bioengineeringand Biomechanics*, 18(3),137-142.
46. Hay J.G. (1993) *The Biomechanics of Sports Techniques*. IV<sup>th</sup> edition, Englewood Clifs, NJ, Prentice-Hall.104.
47. Hay J.G., Reid G. (1982) *Anatomy, Mechanics and Human Motion*. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall
48. Hochmuth G. (1984) *Biomechanik sportlicher Bewegungen*. 5 Auflage, Sportverlag, Berlin (Ost).
49. Hommel H. (1988). NSA photosequences 4- 110 m hurdles– Stephane Caristan (Fra). *New Studies in Athletics* 2, 75-82.
50. Hommel H. (1990) (sequence), Schmid H. (commentary). NSA photosequences 14- 400 m – André Phillips and Edwin Moses. *New Studies in Athletics* 5, 4, 64-72.
51. Hommel H., Vernon J. (1991). NSA photosequences 16- 100 meters hurdles– Yordanka Donkova. *New Studies in Athletics* (6), 2:67-71.
52. Hommel H., Arnold J. (1992). NSA photosequences 26 – 110 metres hurdles: Roger Kingdom. *New Studies in Athletics* 2, 65- 72.
53. Hommel H., Arnold J. (1993). NSA photosequences 26 - 110 meters hurdles: Roger Kingdom. *New Studies in Athletics* 8, 2, 65 - 72.
54. Hommel H. (1995). NSA photosequences 33 and 34-110 m hurdles: Colin Jackson. *New Studies in Athletics*, nr 3, s.57-65.
55. Hommel H. (1995) (sequence), Arnold M. (commentary). NSA photosequences 33 end 34- 110 m hurdles: Colin Jackson *New Studies in Athletics* 10, 3, 57-65.
56. Husbands Ch. (2013). *Sprinting: Training, Techniques and improving performance*. ISBN 978 1 84797 549 2
57. Hyjek-Młynarczyk K, Piechota K., Iskra J., Pietrzak M. (2017). The EMG analysis of hurdler's upper limb muscles in the period of specialized exercises. *Scientific Review of Physical Culture*, 7 92), 190-195.



58. Hyjek-Młynarczyk K., Gwiazdoń P., Pietrzak M., Kędra N. (2020). Analiza elektromiograficzna mięśni kończyn górnych i dolnych podczas specjalistycznych ćwiczeń płotkarskich. W: Nowe trendy w badaniach naukowych – wystąpienie młodego naukowca Edycja I, Centrum konferencji: Kraków, 62
59. Hyjek-Młynarczyk K, Iskra J. (2021). Arm action in hurdle clearance in groups of different age and sport level. *Journal of Physical Education & Health Social Perspective* 10; (15) (czasomismo w druku)
60. Iliov I., Primakov J. (1978). *Faktornata struktura na tehnikata w bieganeto na 110 m s priepastwia*. *Trenorska Misl*, 4, 7-13
61. Iskra J. (1995). The most effective technical training for the 110 meters hurdles. *New Studies in Athletics* 1, 51-55.
62. Iskra J., Bacik B. (1996). Technika pokonywania płotka najlepszych polskich płotkarzy. *Lekkoatletyka* 11-12, 50-53.
63. Iskra J. (1997a). Wpływ wybranych parametrów budowy somatycznej, sprawności motorycznej i przygotowania technicznego na wynik w biegu na 400 m przez płotki w grupie najlepszych polskich zawodników. *Trening* 3, 191-198
64. Iskra J., Bacik B. (1997b). Wykorzystanie kinematycznej analizy ruchu w korygowaniu techniki pokonywania płotka. *Trening* 2, 257-264.
65. Iskra J. (1998). *Biegi przez płotki. Teoretyczne podstawy i praktyczne rozwiązania*. Katowice.
66. Iskra J. (1999). *Bieg na 400 m przez płotki*. Uniwersytet Rzeszowski, Rzeszów.
67. Iskra J., Bacik B. (1999). *Hurdle clearance technique of Europe-an Champion in 400 m*. *Kinesiologia Slovenica*, 5, 70.
68. Iskra J., Bacik B., Król H. (2000). The effect of specific exercises on changes in hurdle technique. W: (red. J. Raczek, Z. Waśkiewicz, G. Juras). *Current Research in Motor Control*. Katowice, University School of Physical Education, 104-117.
69. Iskra J., Mynarski W. (2000). The influence somatic traits and motor fitness on hurdle race results by untrained boys aged 11-15. *Journal of Human Kinetics* 2000: 4, 111-131.
70. Iskra J. (2001). *Morfologiczne i funkcjonalne uwarunkowania rezultatów w biegach przez płotki*. Katowice: AWF.
71. Iskra J., Waśkiewicz Z., Bacik B. (2003). The structure on the hurdlers stride among world class athletes in light of factor analysis. *Antropomotoryka* 25, 47-52.
72. Iskra J. (2005). *Rozwój biegów przez płotki na świecie i w Polsce do 2004 roku*. Politechnika Opolska, Opole 2005.
73. Iskra J., Čoh M., (2006). *A review of biomechanical studies in hurdle races*. *Kinesiologia Slovenica*, 1, 84-102.
74. Iskra J., Przednowek K. (2008a). Kinematics parameters of „dominant” and „alternate” lead leg in 400-m hurdle clearance technique. W: (red. G. Juras i K. Slomka) “*Current research in Motor Control III. From Theories to Clinical Applications*”. Katowice, Academy of Physical Education, 263-270.
75. Iskra J. (ed.) (2008b). *Lekkoatletyka dla dzieci i młodzieży*. AWF, Katowice, Politechnika Opolska, Opole.
76. Iskra J., Čoh M., (2011). Biomechanical studies on running the 400 m hurdles. *Human Movement*, vol. 12 (4); 315-323.

77. Iskra J., (2012a). *Scientific research in hurdle race*. Katowice: AWF.
78. Iskra J., (2012b). Athlete typology and training strategy in the 400 m hurdles. *New Studies in Athletics*, 27 (1/2): 27-37.
79. Iskra J. (2013). *Czasowe i przestrzenne parametry biegu przez płotki a budowa ciała i przygotowanie motoryczne młodzieży*. PWSZ Racibórz
80. Iskra J., Przednowek K. (2016). Influence of fatigue in the selected kinematic parameters of hurdle clearance in 400 m race – in search of an accurate training test. W: *34<sup>th</sup> International Conference on Biomechanics in Sports*, Tsukuba, 687-690.
81. Iskra J., Przednowek K. (2017a). Ocena prędkości liniowych wybranych segmentów kończyn górnych w czasie marszu przez płotki. W: *Symposium Biomechaniki Sportu i Rehabilitacji*, AWF Warszawa, Streszczenia, 9-10.
82. Iskra J., Przednowek K., Krzeszowski T., Wiktorowicz K., Pietrzak M. (2017b). Kinematic Analysis of the Upper Limbs in Stepping over Hurdle. The Use of IMU-based Motion Capture. W: *Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Congress on Sport Sciences Research and Technology Support (icSPORTS 2017)*, 102-106.
83. Iskra J., Przednowek K. (2019a). Strategia biegu na 400 m przez płotki mężczyzn – w poszukiwaniu parametrów czasowych. *Symposium Biomechaniki Sportu i Rehabilitacji*. Akademia Wychowania Fizycznego Im. Józefa Piłsudskiego w Warszawie. s. 22-23.
84. Iskra J., Pietrzak M., Przednowek K. (2019b). The Use of IMU-based Human Motion Capture to Assess Kinematic Parameters of Specific Exercises Performed by 400 m Hurdlers. [w:] *Proceedings of the 7th International Conference on Sport Sciences Research and Technology Support*, 209-216
85. Iwkin G.W., Jegorow A.S., Żukow, N.L. (1987). Sawriemiennaja technika bariernowo biega [Modern hurdle run technique]. *Teoria i Praktyka Fizycznej Kultury*, 9, 32-34.
86. Jakoubek J. (2017). *Technika přeběhu překážky na 400 m překážek. Diplomová práce*, Univerzita Karlova Fakulta Tělesné Výchovy a Sportu, Praha.
87. Jarver J. 1997. *The hurdles. Contemporary theory, technique and training*. Tafnews Press, Mountain View.
88. Kaufmann E., (1976). Biomechanical analysis of intermediate and steeplechase hurdling technique. W: (red. P. V. Komi), *Biomechanics V-B*. Baltimor, Md.: University Park Press, pp. 181- 187.
89. Knudson, D. (2007a). Qualitative biomechanical principles for application in coaching. *Sports Biomechanics* 6 (1): 109-18.
90. Knudson, D. (2007b). *Fundamentals of Biomechanics*. (2<sup>nd</sup> editions), Department of Kinesiology California State University at Chico.
91. Knudson D., Morrison C. (2002) *Qualitative Analysis of Human Movement*. (1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> editions), Human Kinetics, Champaign, IL
92. Komorowski L. (2007). Biegi przez płotki - rys historyczny. W: *Lekkoatletyka / pod red. Edwarda Mleczki*. - Kraków : Akademia Wychowania Fizycznego im. Bronisława Czecha w Krakowie, 2; s. 47-49.
93. Korbel V. (2005). Překážkový běh mužů a žen na 400 m. W: Millerová V., Hlína J., Kaplan A., Korbel V. *Běhy na krátké tratě*. Praha: Olympia, 28. ISBN 80-7033-570-X.

94. Kowalek, B., Krzeszowski, T., Gagalowicz, A., Wojciechowski, K., Josiński, H.: Real-Time Multi-view Human Motion Tracking Using Particle Swarm Optimization with Resampling, *7th Int. Conf. on Articulated Motion and Deformable Objects*, vol. 7378, Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag Berlin / Heidelberg, 2012, 92-101.
95. Król H. (2016) *Biomechaniczne aspekty ćwiczeń doskonalących technikę sportową*. Akademia Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach, Katowice.
96. Król, H., Bacik, B. (1997). Kinematyka kroku płotkowego w zależności od wysokości płotka. *Antropomotoryka*, 16: 103-111.
97. Krzeszowski T., Przednowek K., Wiktorowicz K., Iskra J. (2017). Multiview Human Body Tracking of Hurdle Clearance: a Case Study. W: *Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Congress on Sport Sciences Research and Technology Support (icSPORTS 2017)*, 83-88.
98. Krzeszowski T., Przednowek K., Wiktorowicz K., Iskra J. (2016). Estimation of hurdle clearance parameters using a monocular human motion tracking method. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering* 19/12, 1319-1329.
99. Krzeszowski T., Przednowek K., Iskra J., Wiktorowicz K. (2015). Monocular Tracking of Human Motion in Evaluation of Hurdle Clearance. W: (red. J. Cabri, J. Barreiros, P. Pezarat-Correira) *Sports Science Research and Technology Support*. Springer International Publishing, Switzeland, 16-29, 30-41.
100. Krzeszowski T., Michalczuk A., Kwolek B., Switonski A., Josiński H. (2013). Gait recognition based on marker-less 3D motion capture. W: *Advanced Video and signal Based Surveillance (AVSS)*, 10<sup>th</sup> IEEE Int.Conf. on, 232-237.
101. Kuchen, A. a kol. (1987). *Téoria a didaktika atletiky*. 1. Vyd. Bratislava: *Slovenské pedagogické nakladatel'stvo*, s.19.
102. Lee J.H. (2004). The Kinematic analysis of the hurdling of men's 110m hurdle. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 14; (1): 83-98.
103. Lees A. (2002) *Technique analysis in sports: a critical review*. *Journal of Sports Sciences* 20 (10): 813-828.
104. Lima M., Claudino J., Mezencio B., Oliveira F., Amadio A., Serrao J.(2013). Comparative biomechanical analysis of hurdle techniques on 110 m and 400 m in elite athletes. In *Precedings of XV Brazilian of Biomechnics*, ISB,1-2.
105. Lipoński W. (2001). *Encyklopedia Sportów Świata*. ISBN: 83-85414-70-0
106. Li J., Fu D. (2000). The kinematic analysis on the technique between run and hurdle clearance of 110 m hurdles. In: (ed. Y. Hong) *18<sup>th</sup> International Symposium on Biomechanics in Sport; How we applied sports biomechanics to the preparations for the Olympic Games*, pp. 87-88.
107. Li X., Zhou J., Li N., Wang J. (2011). *Comparative biomechanics analysis of hurdle clearance techniques*. In *ISBS-Conference Proceedings Archive*, vol. 1.
108. McDonald C., Dapena J. (1991a). Linear kinematics of the men's 110-m and women's 100-m hurdles races. *Medicine and Spcience in Sports and Exercise*. 12; 1392-1402.
109. McDonald C., Dapena J. (1991b). Linear kinematics of the men's 110-m and women's 100-m hurdles races. *Medicine and Spcience in Sports and Exercise*. 12; 1382-1391.
110. McDonald C. (2002). Hurdling is not sprinting. *Track Coach*; 161: 5137-5143.
111. McDonald C. (2003). The angular momentum of hurdle clearance. *Track Coach*; 163: 5191-204.

112. McFarlane B. (1988). *The science of hurdling*. Ottawa: Canadian Track and Field Association.
113. McFarlane B. (2000), *The Science of Hurdling and Speed*. Athletics Canada, Track and Field Association, Ottawa.
114. McGill S. (2018). *A Hurdler's Hurdler: The Life of Rodney Milburn*, Olympic Champion.
115. McKinnon G., Comerford M., (2012). Hurdle performance: lead arm technique advancement. *Modern Athlete & Coach*, 50(1): 26-29
116. McLean B. (1994). The biomechanics of hurdling: force plate analysis to assess hurdling technique. *New Studies in Athletics* (9) 4: 55-58.
117. Mehlich R. (2004). Poczucie rytmu ruchu zawodników uprawiających bieg przez płotki: [rozprawa doktorska]. Katowice: AWF, 2004.
118. Mero A., Luhtanen P. (1986). *Biomechanische Untersuchung des Hürdenlaufs während der Weltmeisterschaften in Helsinki*. Leistungssport, 1, 42-43.
119. Mero A., Peltola E. (1989)., Elektromyographische Aktivität und Reaktionskräfte beim Hürdenlauf
120. Miller S. (1982). Technical and training considerations 110 m high hurdles/ 400 m intermediate hurdles. W: *Track and Field Quart. Review* 2; p. 33.
121. Miskos G. (1988). Biomechanicka analiza prebehu perkazek. *Teorie a Praxe telesna Vychovy* 11, 648-654.
122. Nett E., Nett T. (1969). *Weltbeste Leichtathletik in Lehrbildreihen Hürdenlauf*. Berlin-München-Frankfurt n. M.: Bartels and Wernitz.
123. Oberbeck H. (1972). Der Hürdenlauf. In: *Das Training jungedlichen Leichtathleten*. Verlag Karl Hoffmann, Stuttgart, pp. 32-35.
124. Obrocka K. (2006). *Bieg płotkarski*. W: *Lekkoatletyka w szkole: podręcznik dla studentów wychowania fizycznego*. (red. M. Długosielska, T. Gabryś, Z. Mierzejewski, K. Obrocka, A. Pionk, E. Pstrokońska): 48-60, AWF Warszawa
125. Otrubiannikow P.J., Razumowski J.A. (1988). *Sprint s barierami*. Zdrowia, Kijów.
126. Otsuka M., Isaka T. (2019). Intra-athlete and inter-group comparisons: Running pace and step characteristics of elite athletes in the 400-m hurdles. *PLoS ONE* 14(3): e0204185
127. Paish W. (1986). Training for the 400 m hurdles. *Athletics Weekly* 24, 31-32.
128. Park Y.J., Ryu, J.K., Ryu, J.S., Kim, T.S., Hwang, W.S., Park, S.K., Yoon, S. (2011). Kinematic analysis of hurdle clearance technique for 110-m men's hurdlers at IAAF World Championships, Daegu 2011. *Korean J. Sport Biomechanics*. 21, 5209–540.
129. Przednowek K., Iskra J., Krzeszowski T. (2014a). The analysis of hurdling steps using an algorithm of computer Vision: the case of well-trained athlete. *Medycyna Sportowa* 1 (30), 307-313.
130. Przednowek K., Krzeszowski T., Iskra J., Wiktorowicz K. (2014b). Markerless motion tracking in evaluation of hurdle clearance parameters. W: *"icSports 2014", Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Congress on Sports Sciences Research and Technology Support*, Rzym, 129-136.
131. Przednowek K., Iskra J., Krzeszowski T., Wiktorowicz K. (2016). Evaluation of kinematic parameters of hurdle clearance during fatigue In men's 400m hurdles – research using the

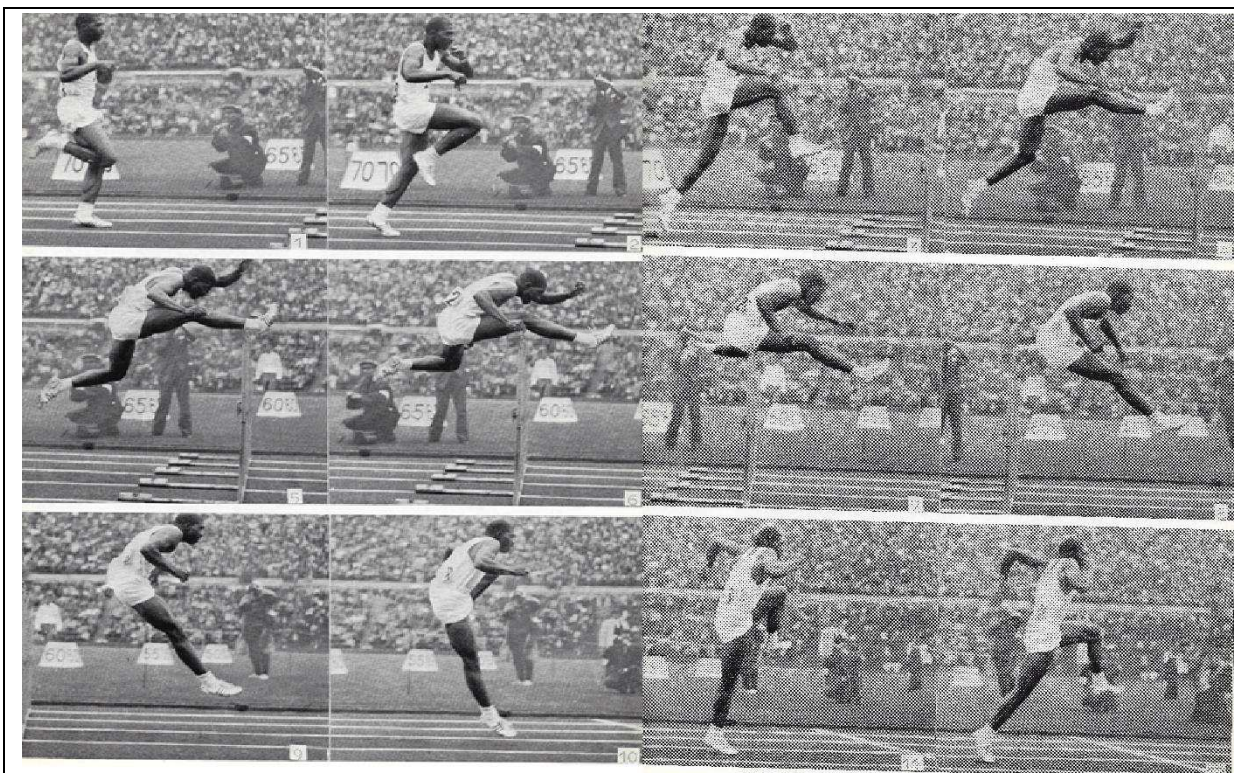
- method of computer version. W: (red. Kajetan Słomka, Grzegorz Juras) Current research in motor control V, 100-105.
132. Quercetani R.J. (2009). A World History of hurdle and Steeplechase Racing. 1860- 2008. Men and Women. EditVallard; Milan.
  133. Radiuk A. (1986). *Bieg 110 m przez płotki W: Lekkoatletyka* (red. J. Mulak). Sport i Turystyka.
  134. Reguła I. (2000). *Narzędzia analizy systemowej treningu sportowego*. AWF Katowice.
  135. Salczenko I. (1974). *Bolsze wnimanie skorosti*. Legkaja Atletika 2:14-15.
  136. Salo A., Peltola E., Viitasalo T. (1993). Some biomechanical characteristics of the run between hurdles in the 110-m hurdles run. *Leistungssport*, 2: 59-62.
  137. Salo, A., Grimshaw, P. N., & Viitasalo, J. T. (1996). The repeatability of motion analysis and the reproducibility of athletes in sprint hurdles. In T. Bauer (Ed.), *Proceedings of the XIII International Symposium for Biomechanics in Sports* (pp. 380-383).
  138. Salo A., Grimshaw P.N., Marar L. (1997a). 3-D biomechanical analysis of sprint hurdles at different competitive levels. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 2: 231-237.
  139. Salo A., Grimshaw P.N., Viitasalo J.T. (1997). *Reliability of variables in the kinematic analysis of sprint hurdles*. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 3: 383-389.
  140. Salo A., Grimshaw P.N., (1998). An examination of kinematic variability of motion analysis in sprint hurdles. *Journal of Applied Biomechanics* (2), 14: 211- 222.
  141. Salo A.I.T., (2002). Technical changes in hurdle clearances at the beginning of 110 m hurdle event- a pilot study. In K. E. Gianikellis (Ed.), *Proceedings of the XX International Symposium on Biomechanics in Sports* Spain: Universidad de Extremadura. (pp. 84-87).
  142. Salo, A.I.; Scarborough, S. (2006). Athletics: Changes in technique within a sprint hurdle run. *Sport Biomechanics* (5); 2: 155–166.
  143. Schiffer J. (2012). The 400 m Hurdles. *New Studies in Athletics* 27:1/2; 9-24
  144. Schlüter W. (1981). Kinematische Merkmale der 110- m – Hürdentechnik [Kinematic characteristics of 110-m- hurdles technique]. *Leistungssport*, 2; 118-127.
  145. Schwirtz A., Baumann W., Grob V., Vonstein W. (1990). Fatigue Effects in the 400 m Hurdles Technique. In: (eds.: G. Brüggemann, J. K. Rühl) *Techniques in Athletics*. The First International Conference Proceedings, Vol.2, Conference proceedings Deutsche Sporthochschule Köln. pp. 440-446.
  146. Shearman M. (1887). *Athletics and Football*. London, Longmans Green and Co. (reprint: London, Elibron Classics, 2007).
  147. Skowronek T., Słomka K., Juras G., Szade Bartłomiej. (2013). Sense of rhythm does not differentiate professional hurdlers from non-athletes. *Perceptual and Motor Skills: Motor Skills & Ergonomics* 117; 1: 1-10.
  148. Stawczyk Z. (1999). *Zarys lekkoatletyki*. Akademia Wychowania Fizycznego w Poznaniu.
  149. Stodółka J. (2007). *Lekkoatletyka jako dyscyplina sportu*; [w] Migasiewicz J., Stodółka J.: Lekkoatletyka. COS, Warszawa.
  150. Strüder H., Jonath U., Scholz K. (2013). *Leichtathletik. 110 m und 400 m Hürden*. Sportverlag, Köln, 281-346.
  151. McGill S. (2005). Rod Milburn: The Double-Armed Man. Hurdles First; <http://hurdlesfirstbeta.com/free-articles/issues/rod-milburn-double-armed-man/>



152. Miskos G. (1988). Biomechanicka analiza přeběhu překážek. *Teorie a Praxe telesne Vychovy*, 936; 11: 648-654.
153. Susanka P. (1993). Tak beha prekazy J. Akii-Bua. *Atletika* 2:14- 15
154. Szczepański T. (1998). Kształtowanie rytmu płotkowego w biegu na dystansie 100m przez płotki kobiet. *Trening*; 2, 13-34.
155. Thompson P.(1991). *Introducing to Coaching.The Official IAAF Guide to Coaching Athletics*. Monaco: International Association of Athletics Federation.
156. Tidow G. (1991). *Model technique analysis sheets for the hurdles. Part VII: High Hurdles. New Studies in Athletics*(6), 2: 51-66.
157. Tidow (1999). Specific flexibility in the hurdles. *Track and Coach* 3 (149), 4745-4748.
158. Tsai, R.: An Efficient and Accurate Camera Calibration Technique for 3D Machine Vision, Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, MiamiBeach, USA, 1986, pp. 364-374.
159. Valamatos M.J., Valamatos M.J., Mil-Homens p., Velosa A. (2005). *Dynamic take-off hurdles clearance: changes on the mechanical power output variables produced by the muscle-skeletal system on the take-off phase of hurdles clearance, induced by a specially designed fatigue protocol*. *Revista Portuguesa de Ciencias do Desporto* 1:15-30.
160. Warburton D. (1985). The 400 m hurdles – the development of effective technique. *Athletics Coach*, 9, 21-25.
161. Webster F. (1929). *Athletic up to date*. London: Frederick Warner and Co.
162. Winckler G. (2000). 400 m hurdles In: J. L. Rogers (Ed.), *USA Track & Field Coaching Manual, Champaign, III.: USA Track & Field, Human Kinetics*, p.75-91.
163. Wilbur L.R. (1978). *The Hurdler's Bible*. Santana Printing
164. Wilimczikm K. (1972). *Leistungsbestimmende Bewegungsmerkmale der 110 m Hurdentechnik*.
165. Wychowański M. (2008). *Wybrane metody oceny dynamiki układu ruchu człowieka*. Akademia Wychowania Fizycznego w Warszawie.

<http://sirenasworld.com/2013/03/14/how-to-hurdle-arm-placement/>

Tabela 1. Kinogramy najlepszych płotkarzy w trakcie pokonania płotka na dystansie 110 m przez płotki.



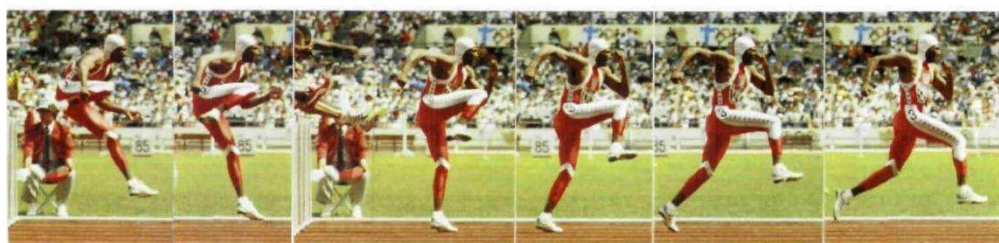
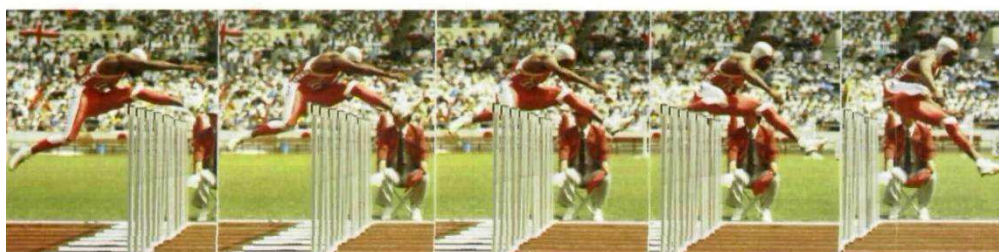
**Hayes Jones** – brązowy medalista OS 1960r. w Rzymie, 13,4 (120y), IO 1964r. Tokio

**William Foster "Billy" Hardin**- srebrny medalista olimpijski w 1964 roku na dystansie 400 m przez płotki





**Colin Jackson** – złoty medalista olimpijski na dystansie 110m ppł, Seul 1988r., rekordzista świata.



**Hinrich John**- srebrny medalista mistrzostw Europy w 1966 w Budapeszcie w biegu na dystansie 110 m przez płotki



**Felix Sanchez**- złoty medalista olimpijski z Aten (2004) i Londynu (2012).

Tabela 2. Prawdopodobieństwo Test Wilcoxon'a w momencie przygotowania do odbicia dla czterech wariantów biegu przez płotki.

| Zmienna                              | M 1          |              |              |              |
|--------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                      | I            | II           | III          | IV           |
|                                      | B1 - B2      | B3 - B4      | B1 - B3      | B2 - B4      |
| wys. środka ciężkości                | 0,733        | 0,970        | 0,677        | 0,622        |
| wys. środka ciężkości – płotek       | 0,733        | 0,970        | 0,677        | 0,622        |
| odl. środka ciężkości – płotek       | 0,470        | 0,519        | 0,519        | 0,733        |
| kąt pochylenia tułowia               | 0,839        | 0,197        | 0,182        | 0,470        |
| odl. środka ciężkości - ramię Z      | 0,677        | 0,052        | 0,129        | <b>0,016</b> |
| odl. środka ciężkości - przedramię Z | 0,791        | 0,622        | <b>0,043</b> | 0,301        |
| odl. środka ciężkości - dłoń Z       | 0,266        | 0,176        | 0,424        | <b>0,007</b> |
| odl. środka ciężkości - ramię A      | 0,791        | 0,052        | <b>0,003</b> | 0,910        |
| odl. środka ciężkości - przedramię A | 0,092        | 0,176        | 0,204        | 0,910        |
| odl. środka ciężkości -dłoń A        | 0,910        | 0,380        | 0,233        | 0,677        |
| rot. x - ramię Z                     | 0,609        | <b>0,016</b> | 0,126        | <b>0,041</b> |
| rot. y - ramię Z                     | 0,959        | 0,235        | 0,064        | 0,151        |
| rot. z- ramię Z                      | 0,556        | 0,358        | 0,108        | 0,154        |
| rot. z - przedramię Z                | 0,969        | 0,683        | 0,285        | 0,593        |
| rot. x - ramię A                     | 0,342        | 1,000        | <b>0,007</b> | 0,092        |
| rot. y - ramię A                     | 0,858        | 0,050        | 0,480        | 0,307        |
| rot. z - ramię A                     | <b>0,014</b> | 0,168        | <b>0,034</b> | 0,569        |
| rot. z - przedramię A                | 0,234        | 0,6236       | 0,5293       | 0,7552       |

Tabela 3. Prawdopodobieństwo Test Wilcoxon'a w momencie odbicia dla czterech wariantów biegu przez płotki.

| Zmienna                              | M2           |         |              |              |
|--------------------------------------|--------------|---------|--------------|--------------|
|                                      | I            | II      | III          | IV           |
|                                      | B1 - B2      | B3 - B4 | B1 - B3      | B2 - B4      |
| wys. środka ciężkości                | 0,424        | 0,791   | 0,910        | 0,233        |
| wys. środka ciężkości – płotek       | 0,424        | 0,791   | 0,910        | 0,233        |
| odl. środka ciężkości – płotek       | 0,470        | 0,910   | 0,677        | 0,622        |
| kąt pochylenia tułowia               | 0,126        | 0,450   | 0,398        | 0,176        |
| odl. środka ciężkości - ramię Z      | 0,176        | 0,622   | 0,791        | 0,622        |
| odl. środka ciężkości - przedramię Z | 0,301        | 0,204   | 0,791        | 0,052        |
| odl. środka ciężkości - dłoń Z       | 0,677        | 0,622   | 0,791        | 0,910        |
| odl. środka ciężkości - ramię A      | 0,424        | 0,850   | 0,339        | 0,129        |
| odl. środka ciężkości - przedramię A | <b>0,007</b> | 0,301   | 0,151        | 0,470        |
| odl. środka ciężkości -dłoń A        | 0,970        | 0,301   | 0,129        | 0,424        |
| rot. x - ramię Z                     | 0,505        | 0,450   | <b>0,016</b> | <b>0,028</b> |
| rot. y - ramię Z                     | 1,000        | 0,959   | 0,339        | 0,238        |
| rot. z- ramię Z                      | 0,756        | 0,233   | <b>0,025</b> | 0,065        |
| rot. z - przedramię Z                | <b>0,025</b> | 0,342   | 0,724        | 0,824        |
| rot. x - ramię A                     | 0,506        | 0,944   | <b>0,017</b> | <b>0,023</b> |
| rot. y - ramię A                     | 0,541        | 0,195   | 0,724        | 0,397        |
| rot. z - ramię A                     | 0,398        | 0,058   | 0,071        | 0,195        |
| rot. z - przedramię A                | 0,107        | 0,575   | 0,056        | 0,202        |



Tabela 4. Prawdopodobieństwo Test Wilcoxon'a w momencie pozycji "nad" płotkiem dla czterech wariantów biegu przez płotki.

| Zmienna                              | M3           |              |              |              |
|--------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                      | I            | II           | III          | IV           |
|                                      | B1 - B2      | B3 - B4      | B1 - B3      | B2 - B4      |
| wys. środka ciężkości                | 0,733        | 0,204        | 0,470        | 0,569        |
| wys. środka ciężkości – płotek       | 0,733        | 0,204        | 0,470        | 0,569        |
| odl. środka ciężkości – płotek       | 0,970        | 0,470        | 0,850        | 0,380        |
| kąt pochylenia tułowia               | 0,726        | 0,625        | 0,470        | 0,052        |
| odl. środka ciężkości - ramię Z      | 0,677        | 0,077        | <b>0,005</b> | 0,424        |
| odl. środka ciężkości - przedramię Z | 1,000        | 0,970        | 0,519        | 0,266        |
| odl. środka ciężkości - dłoń Z       | 0,519        | 0,077        | 0,519        | 0,970        |
| odl. środka ciężkości - ramię A      | 0,339        | 0,151        | 0,569        | 0,677        |
| odl. środka ciężkości - przedramię A | 0,424        | 0,970        | 0,266        | 0,424        |
| odl. środka ciężkości -dłoń A        | 0,910        | 1,000        | 1,000        | 0,733        |
| rot. x - ramię Z                     | 0,959        | 0,813        | <b>0,021</b> | <b>0,027</b> |
| rot. y - ramię Z                     | <b>0,006</b> | 0,755        | 0,610        | 0,306        |
| rot. z- ramię Z                      | 0,136        | <b>0,034</b> | 0,505        | 0,556        |
| rot. z - przedramię Z                | 0,689        | 0,906        | 0,677        | 0,456        |
| rot. x - ramię A                     | 0,673        | 0,066        | <b>0,007</b> | <b>0,025</b> |
| rot. y - ramię A                     | 0,638        | 1,000        | <b>0,005</b> | <b>0,005</b> |
| rot. z - ramię A                     | 0,937        | 0,504        | 0,308        | 0,230        |
| rot. z - przedramię A                | 0,678        | 0,689        | 0,666        | 0,350        |

Tabela 5. Prawdopodobieństwo Test Wilcoxon'a w momencie lądowania dla czterech wariantów biegu przez płotki.

| Zmienna                              | M4           |         |              |              |
|--------------------------------------|--------------|---------|--------------|--------------|
|                                      | I            | II      | III          | IV           |
|                                      | B1 - B2      | B3 - B4 | B1 - B3      | B2 - B4      |
| wys. środka ciężkości                | 0,092        | 0,622   | 0,850        | 0,970        |
| wys. środka ciężkości – płotek       | 0,092        | 0,622   | 0,850        | 0,970        |
| odl. środka ciężkości – płotek       | 0,569        | 0,791   | 0,677        | 0,424        |
| kąt pochylenia tułowia               | 0,910        | 0,126   | 0,176        | 0,092        |
| odl. środka ciężkości - ramię Z      | 0,470        | 0,733   | 0,151        | 0,233        |
| odl. środka ciężkości - przedramię Z | 0,204        | 0,677   | 0,910        | 0,791        |
| odl. środka ciężkości - dłoń Z       | 0,910        | 0,110   | 0,424        | 0,266        |
| odl. środka ciężkości - ramię A      | <b>0,034</b> | 0,910   | 0,470        | 0,424        |
| odl. środka ciężkości - przedramię A | <b>0,027</b> | 0,569   | <b>0,043</b> | 0,266        |
| odl. środka ciężkości - dłoń A       | 0,151        | 1,000   | 0,569        | 0,733        |
| rot. x - ramię Z                     | 0,065        | 1,000   | <b>0,017</b> | 0,107        |
| rot. y - ramię Z                     | 0,346        | 0,386   | 0,791        | 0,583        |
| rot. z - ramię Z                     | 0,056        | 0,684   | 0,380        | 0,724        |
| rot. z - przedramię Z                | 0,398        | 0,919   | 0,158        | 0,638        |
| rot. x - ramię A                     | 0,342        | 0,529   | <b>0,013</b> | <b>0,009</b> |
| rot. y - ramię A                     | 0,906        | 0,553   | 0,351        | 0,455        |
| rot. z - ramię A                     | 0,689        | 0,346   | 0,424        | 0,455        |
| rot. z - przedramię A                | <b>0,025</b> | 0,894   | <b>0,038</b> | 0,969        |

Tabela 6. Prawdopodobieństwo Test Wilcoxon'a w momencie przygotowania do biegu dla czterech wariantów biegu przez płotki.

| Zmienna                              | M5      |         |              |              |
|--------------------------------------|---------|---------|--------------|--------------|
|                                      | I       | II      | III          | IV           |
|                                      | B1 - B2 | B3 - B4 | B1 - B3      | B2 - B4      |
| wys. środka ciężkości                | 0,569   | 0,970   | 0,569        | 0,092        |
| wys. środka ciężkości – płotek       | 0,569   | 0,970   | 0,569        | 0,092        |
| odl. środka ciężkości – płotek       | 0,622   | 0,052   | 0,470        | 0,850        |
| kąt pochylenia tułowia               | 0,625   | 0,677   | 0,677        | 0,910        |
| odl. środka ciężkości - ramię Z      | 0,129   | 0,850   | 0,077        | 0,064        |
| odl. środka ciężkości - przedramię Z | 0,380   | 0,266   | 0,677        | 0,092        |
| odl. środka ciężkości - dłoń Z       | 0,470   | 0,470   | 0,622        | 0,910        |
| odl. środka ciężkości - ramię A      | 0,233   | 0,519   | 0,970        | 0,301        |
| odl. środka ciężkości - przedramię A | 0,910   | 0,569   | 0,470        | 0,301        |
| odl. środka ciężkości -dłoń A        | 0,064   | 0,622   | 0,569        | 0,233        |
| rot. x - ramię Z                     | 0,139   | 0,859   | <b>0,016</b> | <b>0,043</b> |
| rot. y - ramię Z                     | 0,423   | 0,449   | 0,209        | 0,168        |
| rot. z- ramię Z                      | 0,109   | 0,230   | 0,433        | 0,784        |
| rot. z - przedramię Z                | 0,859   | 0,068   | 0,285        | 0,906        |
| rot. x - ramię A                     | 0,350   | 0,155   | <b>0,031</b> | <b>0,028</b> |
| rot. y - ramię A                     | 0,449   | 0,074   | 0,937        | 0,380        |
| rot. z - ramię A                     | 0,859   | 0,756   | 0,224        | 0,367        |
| rot. z - przedramię A                | 0,109   | 0,929   | 0,569        | 0,610        |

Tabela 7. Prędkości dla wybranych segmentów w analizowanych momentach podczas marszu przez płotki [m/s].

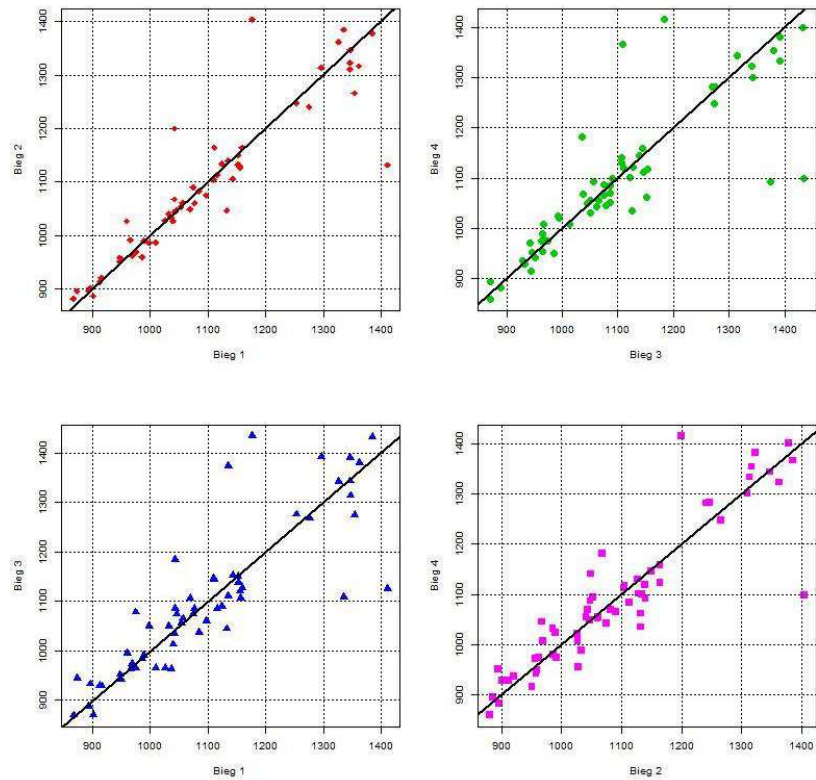
| Zawodnik   | K | M  | Obręcz barkowa P | Ramię P | Przedramię P | Dłoń P | Obręcz barkowa L | Ramię L | Przedramię L | Dłoń L |
|------------|---|----|------------------|---------|--------------|--------|------------------|---------|--------------|--------|
| Zawodnik 1 | P | M1 | 0,76             | 1,11    | 1,73         | 2,49   | 0,47             | 0,45    | 1,61         | 2,51   |
|            |   | M2 | 0,89             | 0,50    | 1,24         | 2,52   | 1,09             | 1,42    | 1,67         | 1,72   |
|            |   | M3 | 1,57             | 1,51    | 2,79         | 4,64   | 1,83             | 2,17    | 2,37         | 2,55   |
|            | L | M1 | 1,12             | 0,36    | 1,58         | 3,09   | 1,53             | 2,33    | 3,41         | 4,60   |
|            |   | M2 | 1,03             | 1,28    | 1,38         | 1,55   | 0,71             | 0,39    | 1,33         | 2,87   |
|            |   | M3 | 1,31             | 1,78    | 2,31         | 2,59   | 1,10             | 0,63    | 1,14         | 3,04   |
| Zawodnik 2 | P | M1 | 0,62             | 0,54    | 0,78         | 1,18   | 0,84             | 1,03    | 1,02         | 0,97   |
|            |   | M2 | 2,12             | 2,93    | 4,05         | 5,00   | 1,83             | 1,31    | 1,76         | 4,07   |
|            |   | M3 | 1,66             | 2,41    | 3,54         | 4,75   | 1,23             | 0,61    | 1,36         | 4,22   |
|            | L | M1 | 1,12             | 1,50    | 1,41         | 1,02   | 0,87             | 0,52    | 0,73         | 1,30   |
|            |   | M2 | 1,94             | 1,50    | 1,72         | 3,81   | 2,23             | 2,82    | 3,75         | 4,38   |
|            |   | M3 | 1,90             | 1,24    | 0,18         | 1,68   | 2,19             | 2,95    | 4,13         | 4,90   |
| Zawodnik 3 | P | M1 | 0,58             | 0,63    | 0,84         | 1,21   | 0,55             | 0,51    | 0,48         | 0,47   |
|            |   | M2 | 0,61             | 0,93    | 1,29         | 1,61   | 0,50             | 0,44    | 0,39         | 0,39   |
|            |   | M3 | 0,72             | 0,93    | 1,16         | 1,39   | 0,68             | 0,65    | 0,59         | 0,56   |
|            | L | M1 | 0,48             | 0,50    | 0,55         | 0,68   | 0,40             | 0,37    | 0,38         | 0,40   |
|            |   | M2 | 0,81             | 0,83    | 0,69         | 0,50   | 0,83             | 0,88    | 0,93         | 1,02   |
|            |   | M3 | 1,02             | 1,07    | 0,96         | 0,76   | 1,03             | 1,08    | 1,10         | 1,17   |
| Zawodnik 4 | P | M1 | 1,41             | 0,63    | 2,19         | 3,65   | 1,79             | 2,44    | 4,01         | 5,99   |
|            |   | M2 | 1,68             | 1,74    | 1,71         | 1,83   | 1,51             | 1,02    | 0,69         | 1,13   |
|            |   | M3 | 2,96             | 3,39    | 3,95         | 4,29   | 2,62             | 2,08    | 1,36         | 1,92   |
|            | L | M1 | 1,81             | 2,25    | 3,29         | 4,92   | 1,50             | 0,69    | 1,05         | 2,39   |
|            |   | M2 | 1,92             | 1,31    | 1,45         | 3,32   | 2,15             | 2,32    | 2,34         | 2,15   |
|            |   | M3 | 1,43             | 1,06    | 1,44         | 2,91   | 1,85             | 2,67    | 3,71         | 4,43   |
| Zawodnik 5 | P | M1 | 0,01             | 0,01    | 0,01         | 0,01   | 0,01             | 0,02    | 0,02         | 0,02   |
|            |   | M2 | 0,01             | 0,01    | 0,01         | 0,01   | 0,02             | 0,02    | 0,02         | 0,02   |
|            |   | M3 | 0,01             | 0,01    | 0,01         | 0,01   | 0,01             | 0,02    | 0,02         | 0,02   |
|            | L | M1 | 0,03             | 0,03    | 0,06         | 0,08   | 0,06             | 0,05    | 0,03         | 0,05   |
|            |   | M2 | 0,36             | 0,22    | 0,11         | 0,14   | 0,42             | 0,41    | 0,47         | 0,78   |
|            |   | M3 | 0,41             | 0,22    | 0,09         | 0,30   | 0,45             | 0,41    | 0,64         | 1,30   |
| Zawodnik 6 | P | M1 | 0,20             | 0,14    | 0,10         | 0,24   | 0,16             | 0,06    | 0,04         | 0,14   |
|            |   | M2 | 0,61             | 0,62    | 0,68         | 0,79   | 0,58             | 0,55    | 0,40         | 0,29   |
|            |   | M3 | 0,64             | 0,65    | 0,70         | 0,80   | 0,61             | 0,57    | 0,46         | 0,35   |
|            | L | M1 | 0,31             | 0,22    | 0,13         | 0,13   | 0,31             | 0,33    | 0,39         | 0,51   |
|            |   | M2 | 0,66             | 0,73    | 0,99         | 1,40   | 0,58             | 0,42    | 0,25         | 0,15   |
|            |   | M3 | 0,52             | 0,73    | 1,07         | 1,34   | 0,49             | 0,42    | 0,33         | 0,27   |

Legenda: K-kończyna dolna atakująca płotek, M- moment pokonania płotka, L – lewa kończyna, P- prawa kończyna

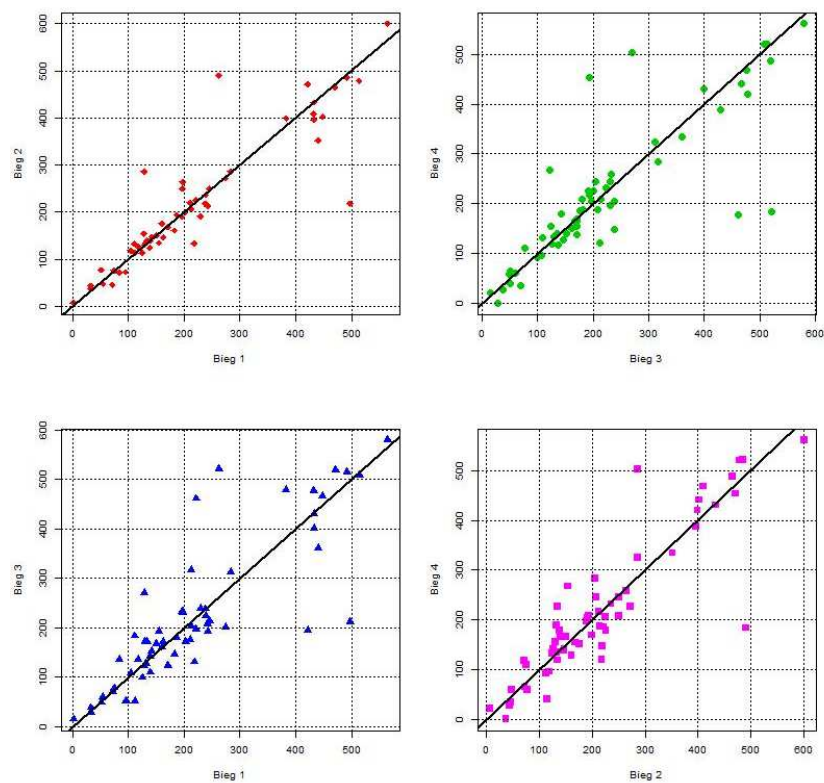


| Zawodnik      | K | M  | Obręcz barkowa<br>P | Ramię<br>P | Przedramię<br>P | Dłoń<br>P | Obręcz barkowa<br>L | Ramię<br>L | Przedramię<br>L | Dłoń<br>L |
|---------------|---|----|---------------------|------------|-----------------|-----------|---------------------|------------|-----------------|-----------|
| Zawodnik<br>7 | P | M1 | 0,87                | 0,51       | 1,21            | 1,59      | 1,05                | 1,49       | 2,34            | 3,39      |
|               |   | M2 | 1,90                | 2,52       | 3,13            | 3,51      | 1,46                | 0,81       | 1,05            | 3,12      |
|               |   | M3 | 1,76                | 2,34       | 2,87            | 3,29      | 1,43                | 0,90       | 1,12            | 2,50      |
|               | L | M1 | 1,38                | 2,00       | 2,28            | 2,61      | 1,16                | 0,62       | 0,29            | 0,79      |
|               |   | M2 | 1,62                | 0,89       | 1,48            | 3,67      | 1,96                | 2,60       | 3,05            | 3,15      |
|               |   | M3 | 1,40                | 0,37       | 1,27            | 3,02      | 2,00                | 2,72       | 3,14            | 3,30      |
| Zawodnik<br>8 | P | M1 | 0,83                | 0,65       | 1,80            | 3,17      | 0,73                | 1,13       | 2,41            | 3,82      |
|               |   | M2 | 1,50                | 1,81       | 2,43            | 3,13      | 1,31                | 0,90       | 0,92            | 1,56      |
|               |   | M3 | 2,00                | 2,72       | 3,51            | 4,19      | 1,76                | 1,35       | 1,73            | 2,54      |
|               | L | M1 | 0,89                | 1,29       | 1,95            | 2,54      | 0,85                | 0,28       | 1,55            | 2,53      |
|               |   | M2 | 1,53                | 0,86       | 1,01            | 2,50      | 1,96                | 2,56       | 3,21            | 3,68      |
|               |   | M3 | 1,72                | 0,79       | 1,54            | 3,34      | 2,18                | 2,96       | 3,75            | 4,12      |

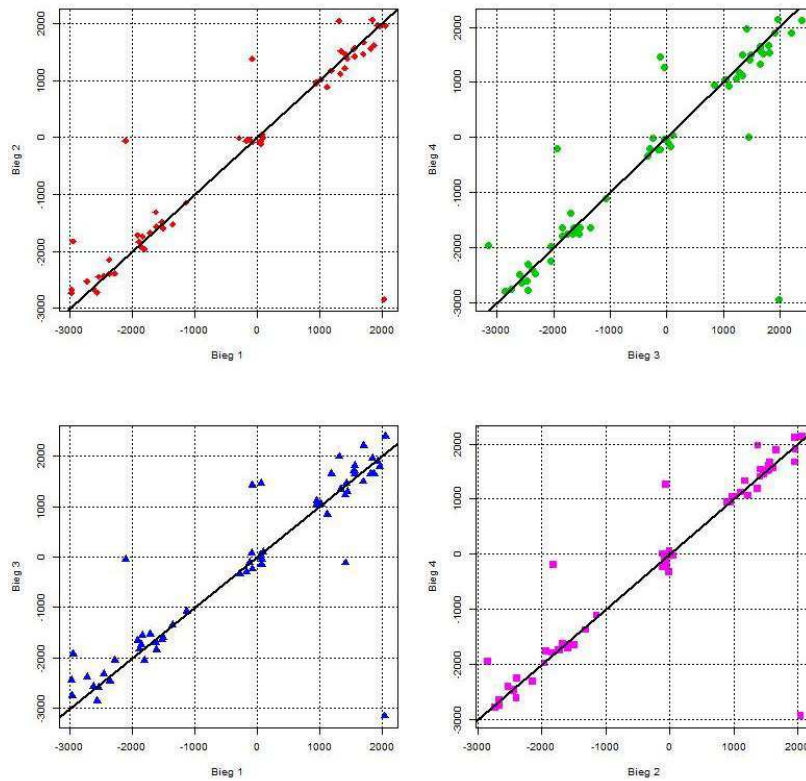
Legenda: K-kończyna dolna atakująca płotek, M- moment pokonania płotka, L – lewa kończyna, P- prawa kończyna



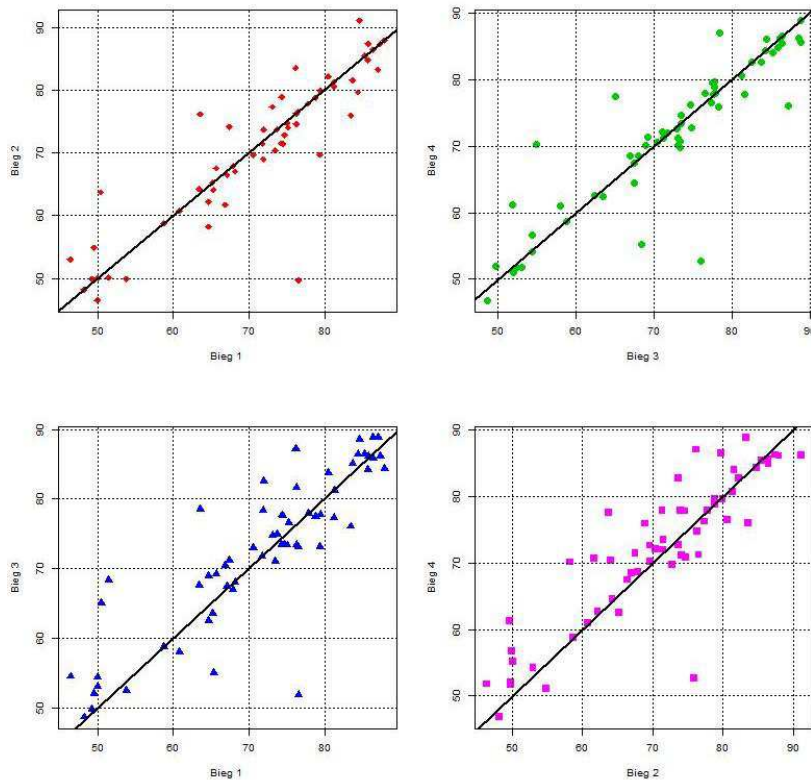
Rycina 1. Wykresy rozrzutu wartości zmiennej wysokość środka ciężkości dla poszczególnych biegów przez płotki [mm]



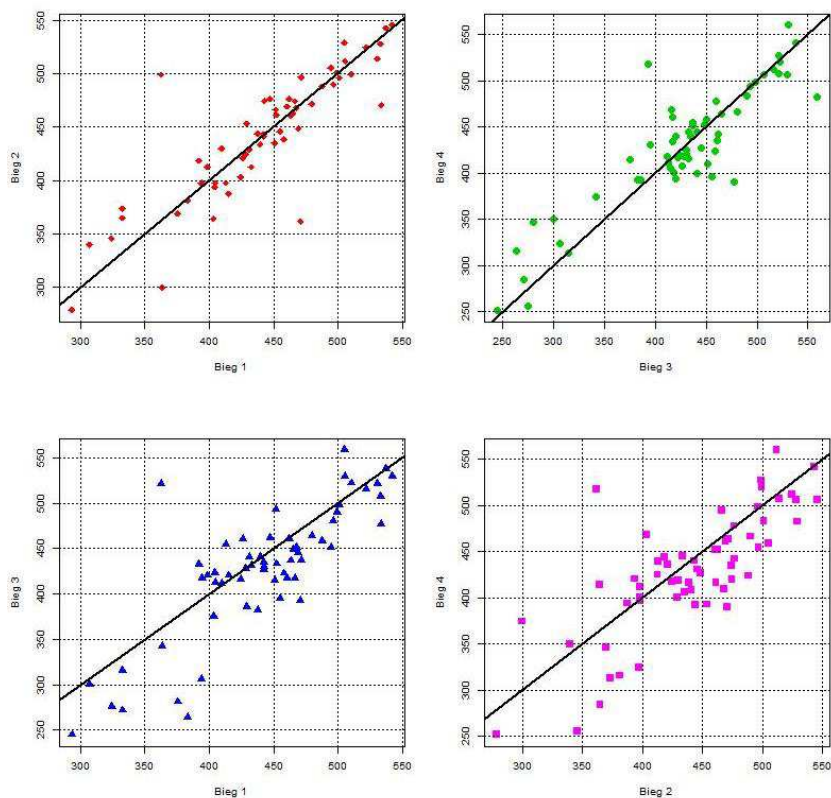
Rycina 2. Wykresy rozrzutu zmiennej wysokość środka ciężkości nad płotkiem dla poszczególnych biegów [mm].



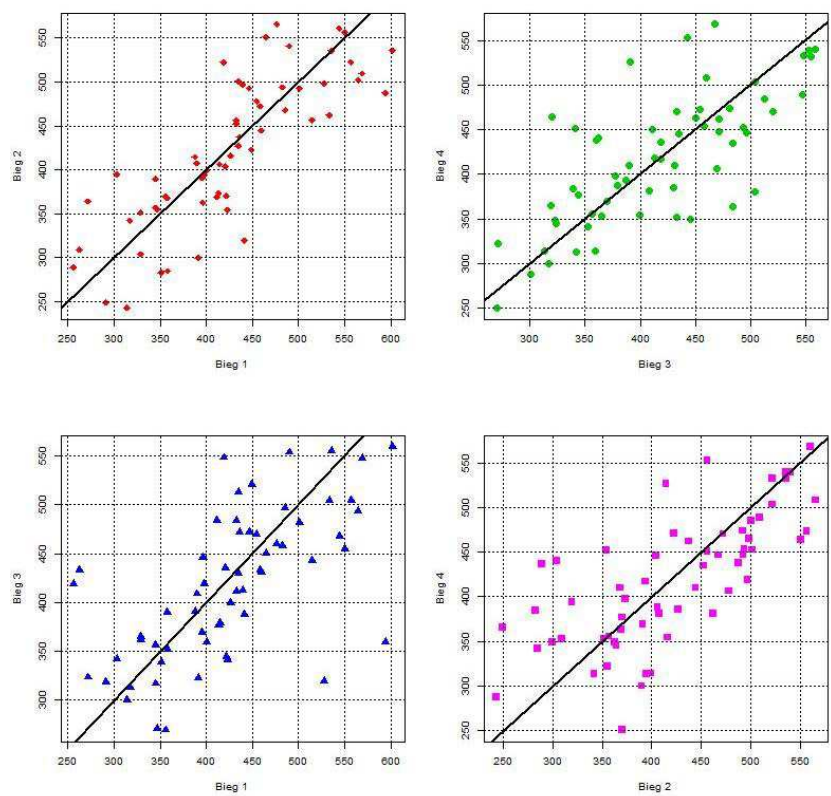
Rycina 3. Wykresy rozrzutu wartości zmiennej odległość środka ciężkości do płotki dla poszczególnych biegów [mm].



Rycina 4. Wykresy rozrzutu wartości zmiennej pochylenie tułowia dla poszczególnych biegów przez płotki [°].

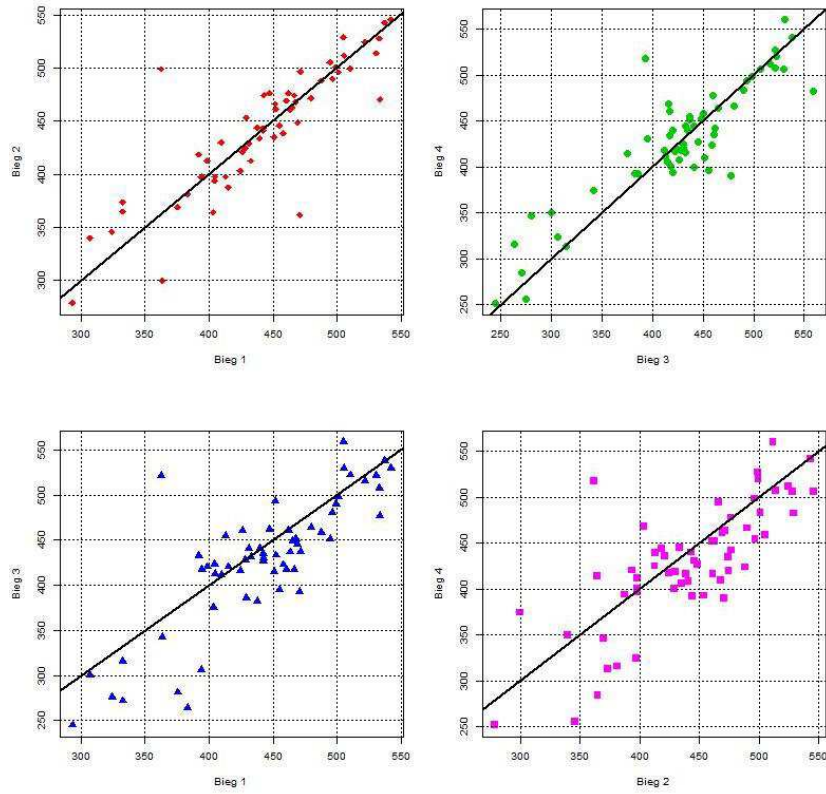


Rycina 5. Wykresy rozrzutu wartości zmiennej odległość środka ciężkości do ramienia zakrocznego dla poszczególnych biegów przez płotki [mm].

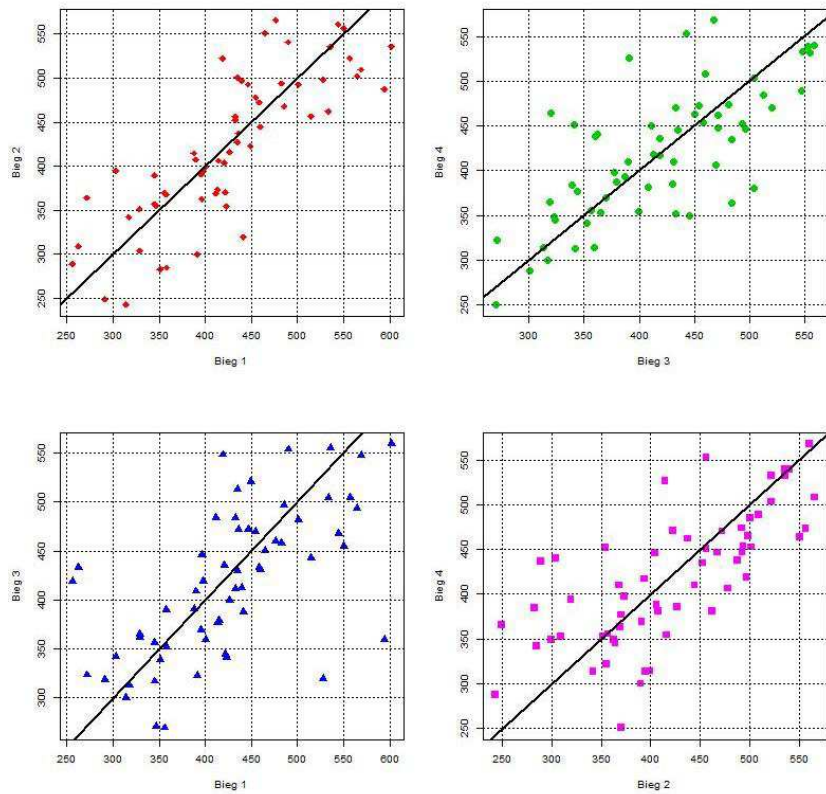


Rycina 6. Wykresy rozrzutu wartości zmiennej odległość środka ciężkości do przedramienia zakrocznego dla poszczególnych biegów przez płotki [mm].

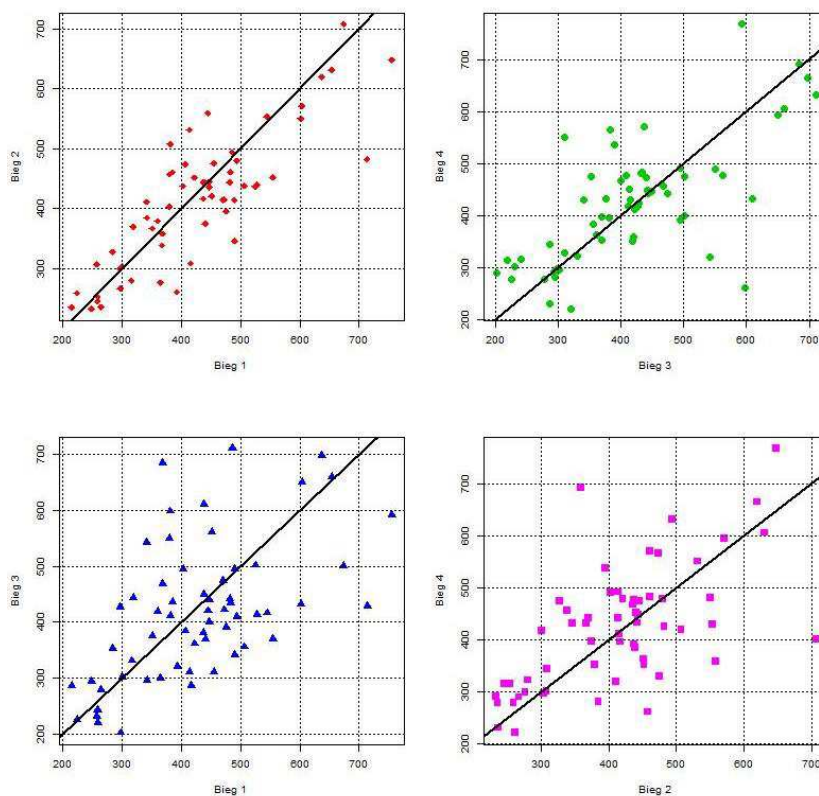




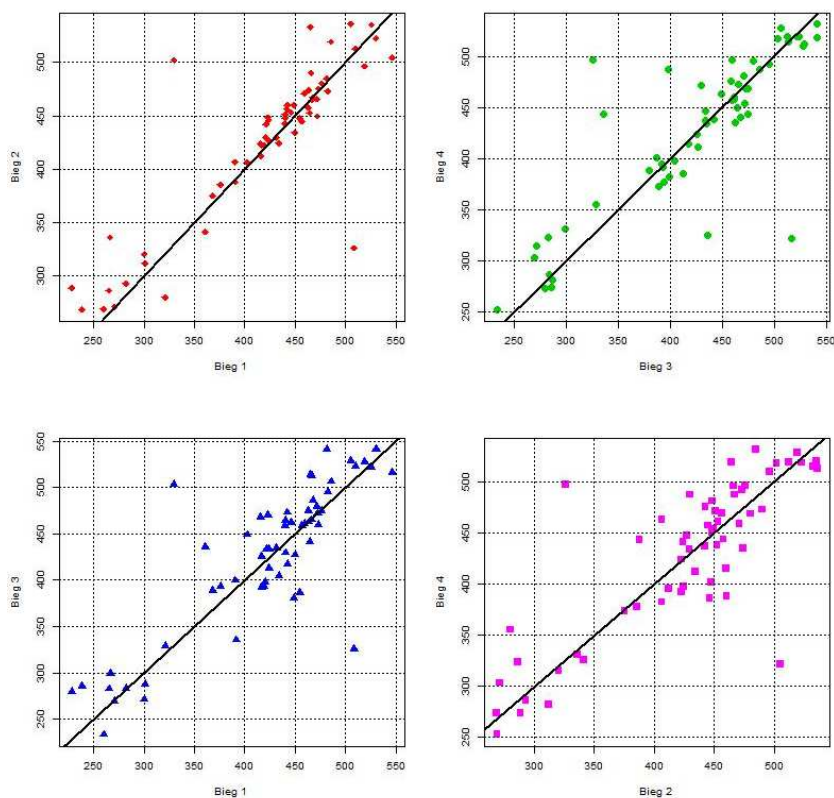
Rycina 7. Wykresy rozrzutu wartości zmiennej odległość środka ciężkości do ramienia zakrocznego dla poszczególnych biegów przez płotki [mm].



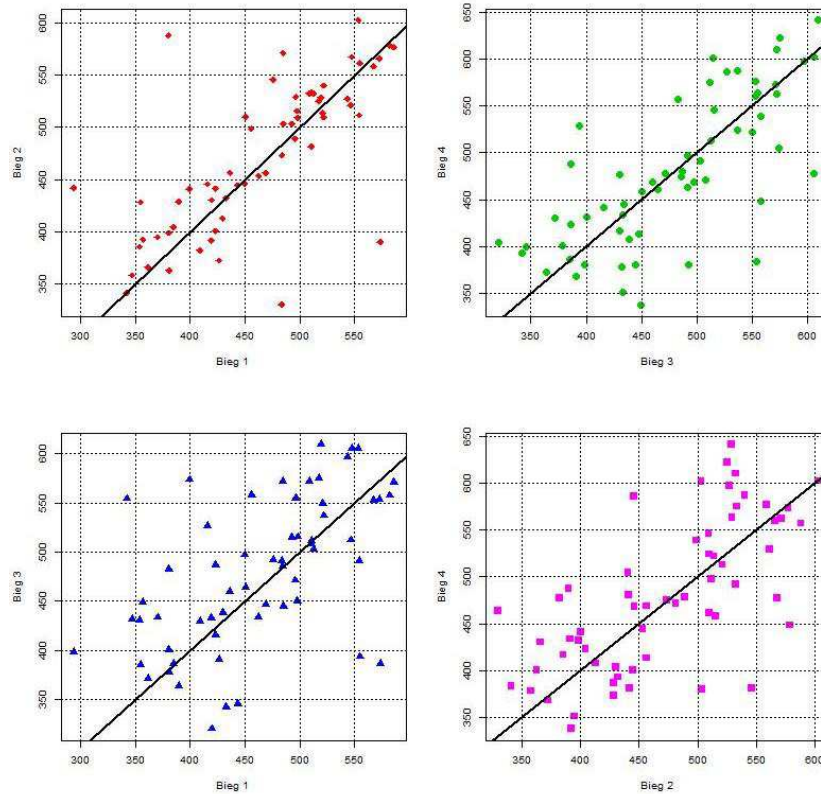
Rycina 8. Wykresy rozrzutu zmiennej odległość środka ciężkości do przedramienia zakrocznego dla poszczególnych biegów przez płotki [mm].



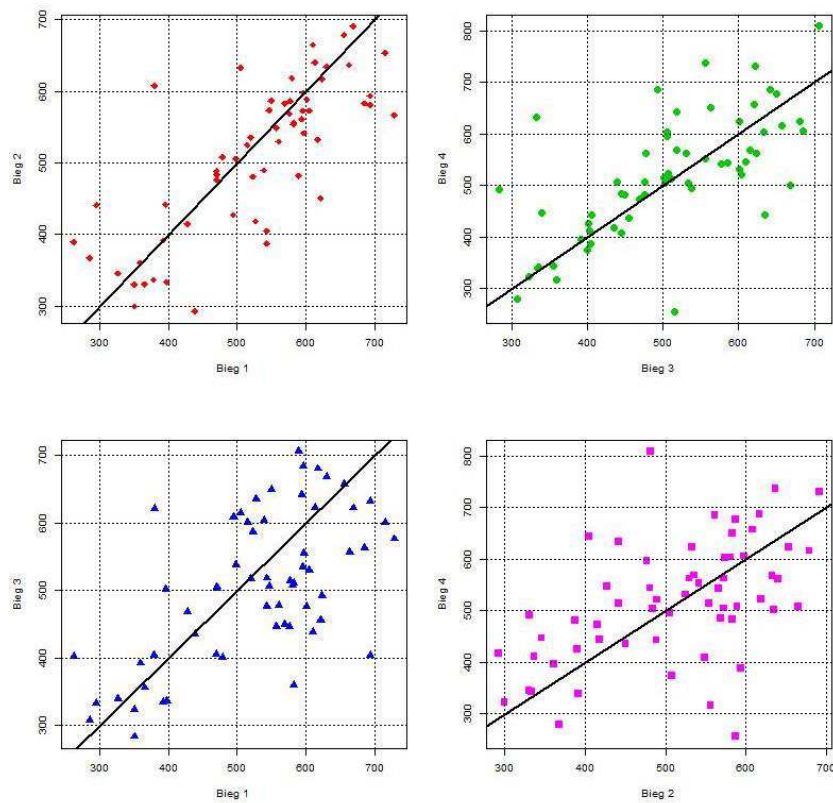
Rycina 9. Wykresy rozrzutu zmiennej odległość środka ciężkości do dłoni kończyny zakroczej dla poszczególnych biegów przez płotki [mm].



Rycina 10. Wykresy rozrzutu zmiennej odległość środka ciężkości do ramienia kończyny atakującej dla poszczególnych biegów przez płotki [mm].

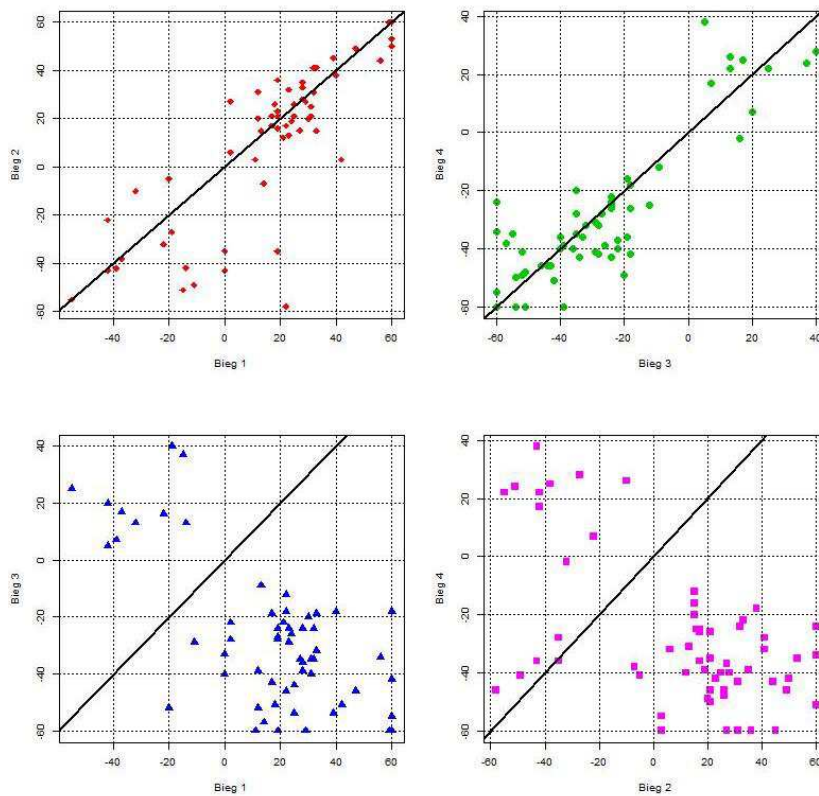


Rycina 11. Wykresy rozrzutu zmiennej odległość środka ciężkości do przedramienia kończyny atakującej dla poszczególnych biegów przez płotki [mm].

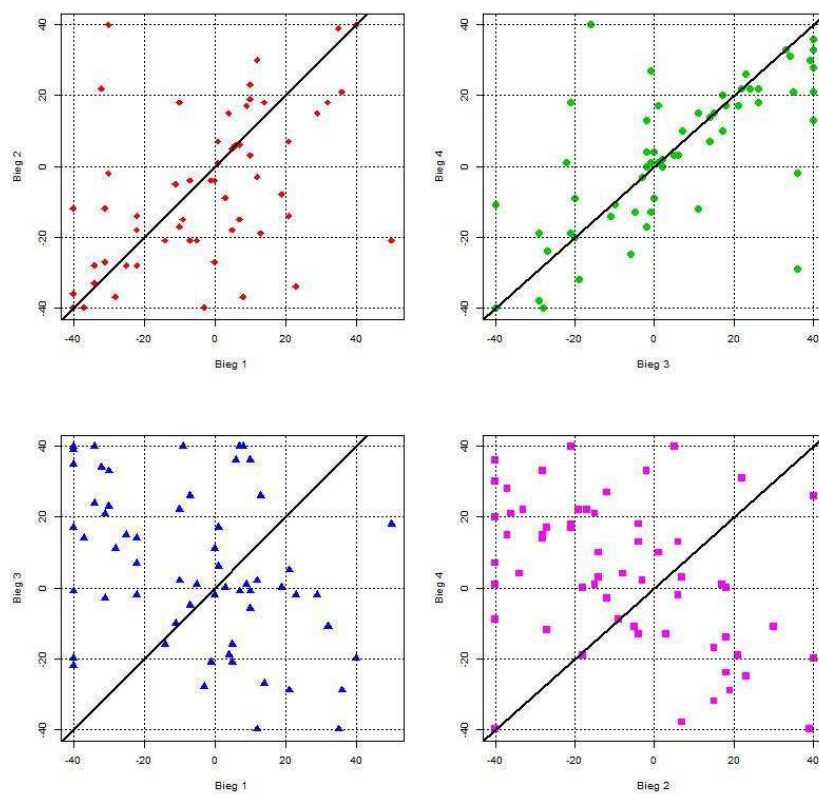


Rycina 12. Wykresy rozrzutu zmiennej odległość środka ciężkości do dłoni kończyny atakującej dla poszczególnych biegów przez płotki [mm].

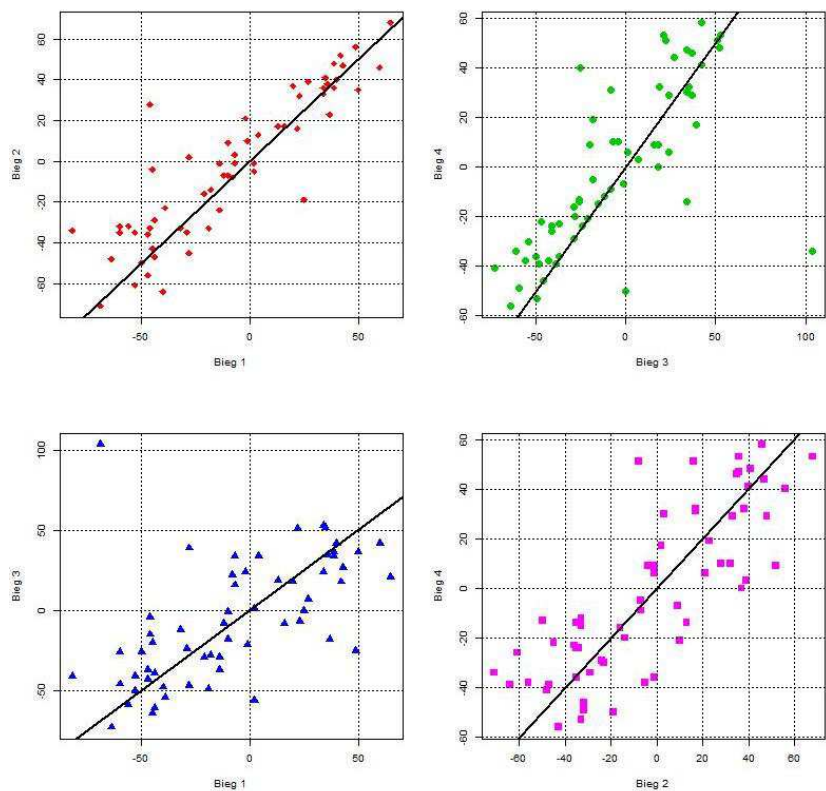




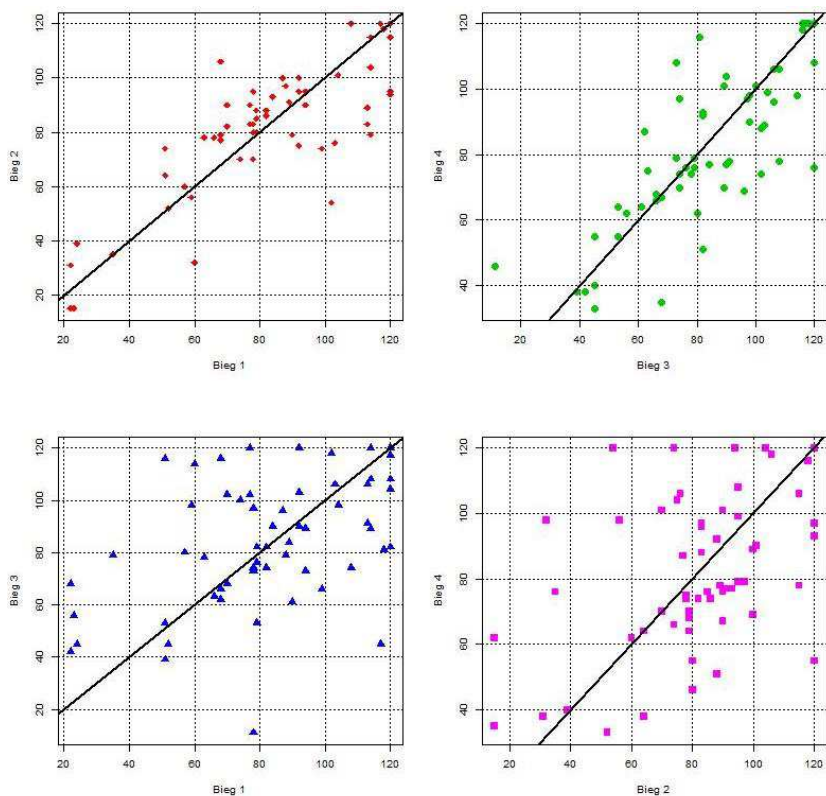
Rycina 13. Wykresy rozrzutu wartości zmiennej rotacja wokół osi x ramienia kończyny zakrocnej dla poszczególnych biegów [ °].



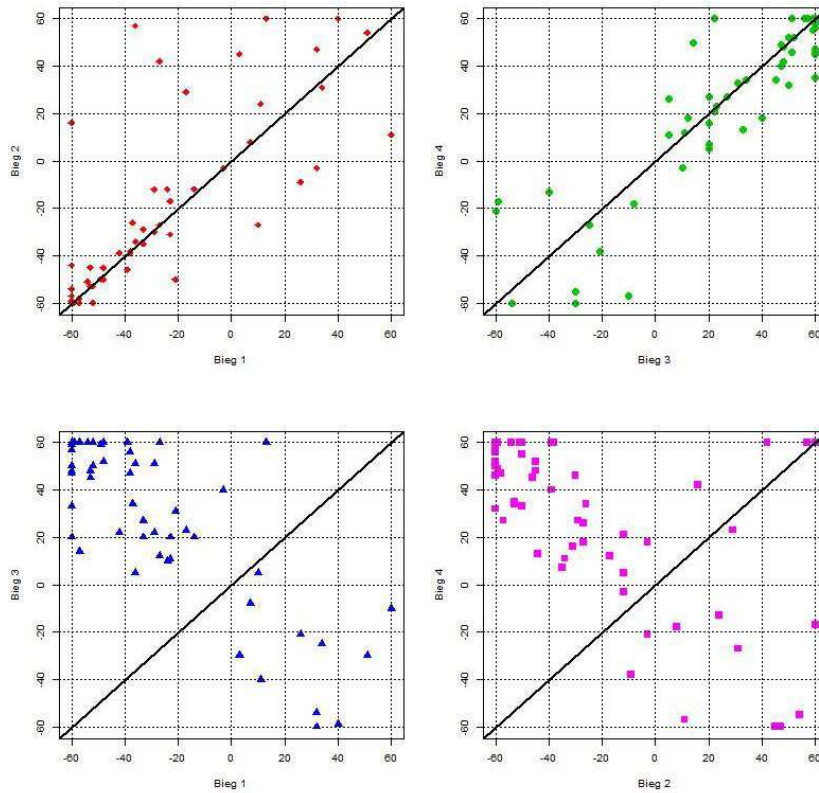
Rycina 14. Wykresy rozrzutu zmiennej rotacja wokół osi y ramienia zakrocznego dla poszczególnych biegów przez płotki [ °].



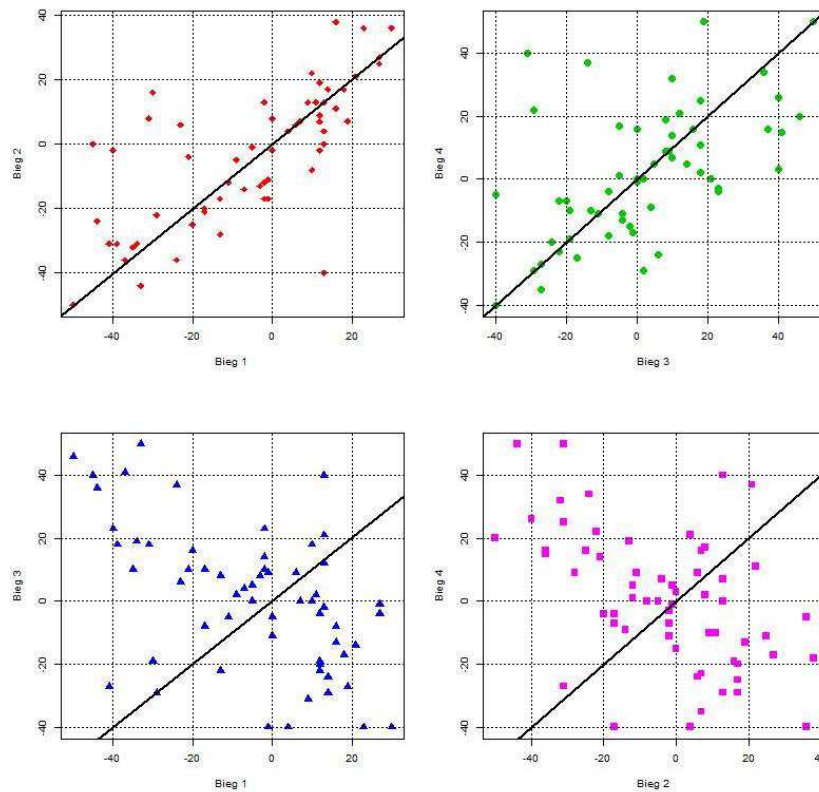
Rycina 15. Wykresy rozrzutu zmiennej rotacja wokół osi z ramienia zakrocznego dla poszczególnych biegów przez płotki [°].



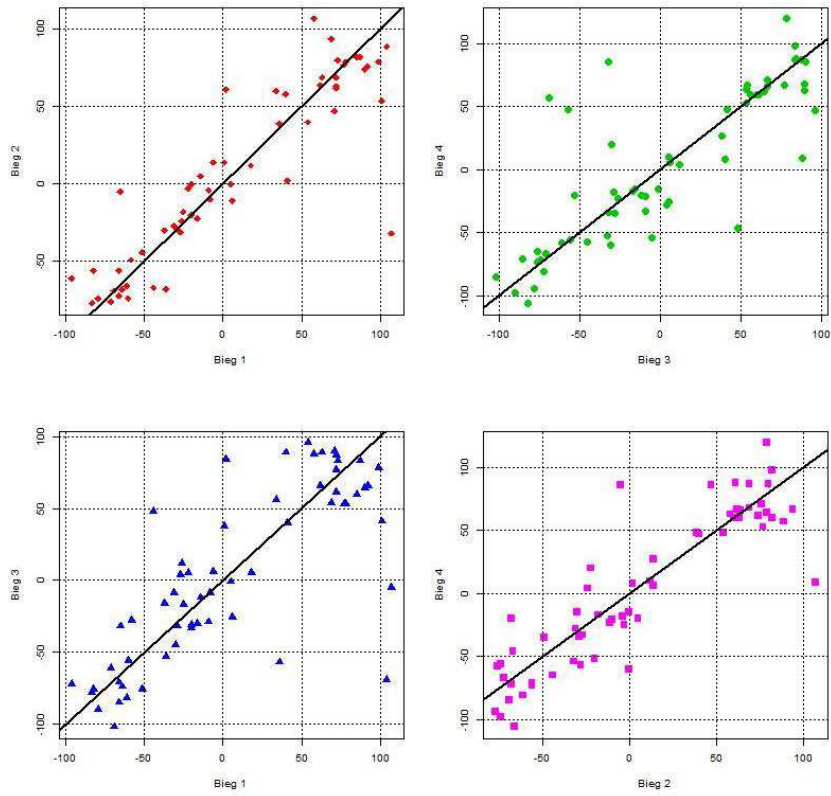
Rycina 16. Wykresy rozrzutu zmiennej rotacja wokół osi z przedramienia zakrocznego dla poszczególnych biegów przez płotki [°].



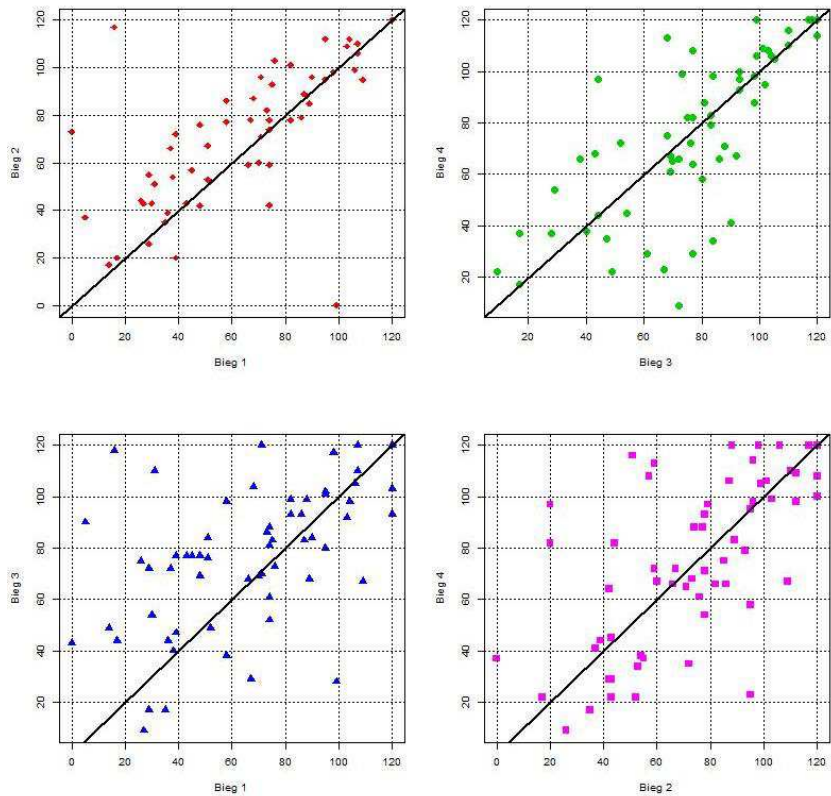
Rycina 17. Wykresy rozrzutu zmiennej rotacja wokół osi x ramienia kończyny atakującej dla poszczególnych biegów przez płotki [°].



Rycina 18. Wykresy rozrzutu zmiennej rotacja wokół osi y ramienia kończyny atakującej dla poszczególnych biegów przez płotki [°].



Rycina 19. Wykresy rozrzutu zmiennej rotacja wokół osi z ramienia kończyny atakującej dla poszczególnych biegów przez płotki [°].



Rycina 20. Wykresy rozrzutu zmiennej rotacja wokół osi z przedramienia kończyny atakującej dla poszczególnych biegów przez płotki [°].



## Spis rycin

|   |    |
|---|----|
| Rycina 1. Od lewej: Forrest Smithson w biegu na 120 y przez płotki w 1907r. oraz finał biegu 110 m ppł podczas IO w Londynie 1908 r. (źródło: <a href="https://beaverrelics.wordpress.com/2014/07/03/forrest-smithson-osus-first-olympic-medalist-in-1908/">https://beaverrelics.wordpress.com/2014/07/03/forrest-smithson-osus-first-olympic-medalist-in-1908/</a> ) ..... | 10 |
| Rycina 2. Chares Bacon i Harry Hillman – finał biegu 400 m ppł podczas IO w Londynie 1908 r. (źródło: <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Athletics_at_the_1908_Summer_Olympics_%E2%80%93_Men%27s_400_metres_hurdles">https://en.wikipedia.org/wiki/Athletics_at_the_1908_Summer_Olympics_%E2%80%93_Men%27s_400_metres_hurdles</a> ).....                                | 10 |
| Rycina 3. Schemat biegu na 100/ 110 m przez płotki (wg Iskra 1995).....   | 12 |
| Rycina 4. Struktura biegu na 400 m przez płotki (Iskra 1999).....   | 13 |
| Rycina 5. Czterozadaniowy model analizy jakościowej (Knudson i Morisson, 2002).....   | 16 |
| Rycina 6. Struktura kroku płotkowego- pięć charakterystycznych pozycji pokonania płotka. ....   | 24 |
| Rycina 7. Demonstracja technik pracy kończyn górnych (wg G. Tidow 1991). *Z - kończyna górna „zakrocza”, A - kończyna górna „atakująca”.....  | 25 |
| Rycina 8. Przykłady techniki pokonywania płotka najlepszych zawodników świata. Od lewej: Rod Milburn w biegu finałowym na dystansie 110 m przez płotki oraz IO w Monachium w 1972 r. Zdobył złoty medal bijąc rekord olimpijski z czasem 13,24 sek. ....  | 26 |
| Rycina 9. Analiza fotograficzna pokonania trzeciego płotka (przykład).....  | 39 |
| Rycina 10. Stanowisko pomiarowe (wg Amritpal i Shamshe 2015).....   | 40 |
| Rycina 11. Analiza kinematyczna pokonania płotka w trzech zasadniczych momentach; M2 – odbicie, M3 – pozycja „nad płotkiem” (środek ciężkości nad płotkiem), M4 – lądowanie....   | 42 |
| Rycina 12. Schemat biegu przez płotki. ....   | 43 |
| Rycina 13. Analiza pokonania płotka w pięciu charakterystycznych momentach.....   | 44 |
| Rycina 14. Wyniki śledzenia zawodnika w momencie lądowania w biegu 1.....   | 44 |
| Rycina 15. Struktura kinematyczna modelu 3D postaci ludzkiej.....   | 45 |
| Rycina 16. Realizacja przekształceń geometrycznych w strukturze 3D. ....  | 46 |
| Rycina 17. Trajektoria ruchu kończyn górnych w marszu przez płotki dla zawodnika specjalizującego się w biegu na 400 m ppł (indywidualny przykład).....   | 56 |
| Rycina 18. Wykres różnic międzygrupowych dla wysokości środka ciężkości do podłoża.....   | 59 |
| Rycina 19. Wykres rozrzutu wartości dla zmiennej odległość środka ciężkości do ramienia kończyny zakroczonej. ....  | 61 |
| Rycina 20. Wykres różnic międzygrupowych dla odległości środka ciężkości do ramienia zakroczonego. ....   | 62 |
| Rycina 21. Wykres różnic międzygrupowych dla zmiennej odległość środka ciężkości do dłoni kończyny zakroczonej. ....  | 63 |
| Rycina 22. Wykres różnic międzygrupowych dla zmiennej odległość środka ciężkości do ramienia kończyny atakującej. ....  | 65 |
| Rycina 23. Wykres różnic międzygrupowych dla zmiennej odległość środka ciężkości do przedramienia kończyny atakującej.....  | 66 |
| Rycina 24. Wykresy rozrzutu wartości pochylenie tułowia względem podłoża w poszczególnych biegach [°].....  | 67 |
| Rycina 25. Wykresy rozrzutu wartości kątowych ramienia zakroczonego względem osi x w poszczególnych biegach [°].....  | 69 |

|   |    |
|---|----|
| Rycina 26. Zakres ruchu dla ramienia kończyny zakroczonej względem osi $x$ .  | 70 |
| Rycina 27. Zakres ruchu dla ramienia kończyny zakroczonej względem osi $y$ .  | 71 |
| Rycina 28. Wykresy rozrzutu wartości kątowych ramienia zakroczonego względem osi $z$ w poszczególnych biegach $[\circ]$ . | 72 |
| Rycina 29. Zakres ruchu dla ramienia kończyny zakroczonej względem osi $z$ .  | 73 |
| Rycina 30. Wykresy rozrzutu wartości kątowych ramienia atakującego względem osi $x$ w poszczególnych biegach $[\circ]$ .  | 74 |
| Rycina 31. Zakres ruchu dla ramienia kończyny atakującej względem osi $x$ .   | 75 |
| Rycina 32. Zakres ruchu dla ramienia kończyny atakującej względem osi $y$ .   | 76 |
| Rycina 33. Zakres ruchu dla ramienia kończyny atakującej względem osi $z$ .   | 77 |
| Rycina 34. Zakres ruchu dla przedramienia kończyny zakroczonej względem osi $z$ .   | 79 |
| Rycina 35. Zakres ruchu dla przedramienia kończyny atakującej względem osi $z$ .  | 80 |

### SPIS RYCIN UJĘTYCH W ANEKSIE

|  |     |
|--|-----|
| Rycina 1. Wykresy rozrzutu wartości zmiennej wysokość środka ciężkości dla poszczególnych biegów przez płotki [mm].                                | 114 |
| Rycina 2. Wykresy rozrzutu zmiennej wysokość środka ciężkości nad płotkiem dla poszczególnych biegów [mm].   | 114 |
| Rycina 3. Wykresy rozrzutu wartości zmiennej odległość środka ciężkości do płotka dla poszczególnych biegów [mm].                                  | 115 |
| Rycina 4. Wykresy rozrzutu wartości zmiennej pochylenie tułowia dla poszczególnych biegów przez płotki $[\circ]$ .                                 | 115 |
| Rycina 5. Wykresy rozrzutu wartości zmiennej odległość środka ciężkości do ramienia zakroczonego dla poszczególnych biegów przez płotki [mm].      | 116 |
| Rycina 6. Wykresy rozrzutu wartości zmiennej odległość środka ciężkości do przedramienia zakroczonego dla poszczególnych biegów przez płotki [mm]. | 116 |
| Rycina 7. Wykresy rozrzutu wartości zmiennej odległość środka ciężkości do ramienia zakroczonego dla poszczególnych biegów przez płotki [mm].      | 117 |
| Rycina 8. Wykresy rozrzutu zmiennej odległość środka ciężkości do przedramienia zakroczonego dla poszczególnych biegów przez płotki [mm].          | 117 |
| Rycina 9. Wykresy rozrzutu zmiennej odległość środka ciężkości do dłoni kończyny zakroczonej dla poszczególnych biegów przez płotki [mm].          | 118 |
| Rycina 10. Wykresy rozrzutu zmiennej odległość środka ciężkości do ramienia kończyny atakującej dla poszczególnych biegów przez płotki [mm].       | 118 |
| Rycina 11. Wykresy rozrzutu zmiennej odległość środka ciężkości do przedramienia kończyny atakującej dla poszczególnych biegów przez płotki [mm].  | 119 |
| Rycina 12. Wykresy rozrzutu zmiennej odległość środka ciężkości do dłoni kończyny atakującej dla poszczególnych biegów przez płotki [mm].          | 119 |
| Rycina 13. Wykresy rozrzutu wartości zmiennej rotacja wokół osi $x$ ramienia kończyny zakroczonej dla poszczególnych biegów $[\circ]$ .            | 120 |
| Rycina 14. Wykresy rozrzutu zmiennej rotacja wokół osi $y$ ramienia zakroczonego dla poszczególnych biegów przez płotki $[\circ]$ .                | 120 |
| Rycina 15. Wykresy rozrzutu zmiennej rotacja wokół osi $z$ ramienia zakroczonego dla poszczególnych biegów przez płotki $[\circ]$ .                | 121 |



|  |     |
|--|-----|
| Rycina 16. Wykresy rozrzutu zmiennej rotacja wokół osi z przedramienia zakrocznego dla poszczególnych biegów przez płotki [°].....         | 121 |
| Rycina 17. Wykresy rozrzutu zmiennej rotacja wokół osi x ramienia kończyny atakującej dla poszczególnych biegów przez płotki [°].....      | 122 |
| Rycina 18. Wykresy rozrzutu zmiennej rotacja wokół osi y ramienia kończyny atakującej dla poszczególnych biegów przez płotki [°].....      | 122 |
| Rycina 19. Wykresy rozrzutu zmiennej rotacja wokół osi z ramienia kończyny atakującej dla poszczególnych biegów przez płotki [°].....      | 123 |
| Rycina 20. Wykresy rozrzutu zmiennej rotacja wokół osi z przedramienia kończyny atakującej dla poszczególnych biegów przez płotki [°]..... | 123 |

### Spis tabel

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1. Organizacja badań biomechanicznych w biegach sprinterskich przez płotki (wg Iskra 1995 z własnymi modyfikacjami). .....         | 21 |
| Tabela 2. Zdjęcia najlepszych płotkarzy w trakcie pokonania płotka- przykłady.....  | 30 |
| Tabela 3. Przykładowe nazewnictwo związane z pracą kończyn górnych w biegach przez płotki- gradacja według słuszności wyboru. ....        | 33 |
| Tabela 4. Słownik pojęć związany z ruchem kończyn górnych w biegach przez płotki. ....  | 33 |
| Tabela 5. Wybór nazewnictwa związanego z ruchem kończyn górnych w biegach przez płotki – gradacja według słuszności wyboru. ....          | 34 |
| Tabela 6. Kończyny górne w biegach przez płotki – próba usystematyzowania nazewnictwa. ...  | 34 |
| Tabela 7. Polska nomenklatura kończyn górnych w biegach przez płotki (wybór).....   | 35 |
| Tabela 8. Charakterystyka badanych grup. ....   | 38 |
| Tabela 9. Kwestionariusz analizy jakościowej techniki ruchu kończyn górnych podczas pokonywania płotka.....                               | 41 |
| Tabela 10. Zestawienie stawów modelu z odpowiadającymi im stopniami swobody (Krzeszowski 2013).....                                       | 46 |
| Tabela 11. Różnice międzygrupowe techniki ruchu kończyny górnej „atakującej” w czasie kroku płotkowego [%]. ....                          | 48 |
| Tabela 12. Różnice międzygrupowe techniki ruchu kończyny górnej zakrocznej w czasie kroku płotkowego [%]. ....                            | 51 |
| Tabela 13. Prędkości liniowe dla poszczególnych segmentów kończyny górnej atakującej podczas pokonania płotka w marszu (w m/s, n=8). .... | 53 |
| Tabela 14. Prędkości liniowe dla poszczególnych segmentów kończyny górnej zakrocznej podczas pokonania płotka w marszu (w m/s; n=8). .... | 54 |
| Tabela 15. Objasnienie skrótów i terminów używanych w tym rozdziale.....  | 57 |
| Tabela 16. Charakterystyki liczbowe parametrów wysokościowych dla czterech biegów przez płotki [mm].....                                  | 57 |
| Tabela 17. Charakterystyki liczbowe zmiennych odległościowych poszczególnych segmentów zakrocznej kończyny górnej [mm]. ....              | 60 |
| Tabela 18. Charakterystyki liczbowe zmiennych odległościowych dla atakującej kończyny górnej [mm]. ....                                   | 63 |
| Tabela 19. Charakterystyki liczbowe zmiennej pochylenie tułowia względem podłoża [°].....   | 67 |

|  |    |
|--|----|
| Tabela 20. Charakterystyki liczbowe zmiennych kątowych dla kończyny górnej zakroczonej [°].<br>.....                             | 68 |
| Tabela 21. Charakterystyki liczbowe zmiennych kątowych dla zakroczonej kończyny górnej [°].<br>.....                             | 70 |
| Tabela 22. Charakterystyki liczbowe zmiennych kątowych dla zakroczonej kończyny górnej [°].<br>.....                             | 71 |
| Tabela 23. Charakterystyki liczbowe zmiennych kątowych dla atakującej kończyny górnej [°].                                       | 73 |
| Tabela 24. Charakterystyki liczbowe zmiennych kątowych dla atakującej kończyny górnej [°].                                       | 75 |
| Tabela 25. Charakterystyki liczbowe zmiennych kątowych dla atakującej kończyny górnej [°].<br>.....                              | 77 |
| Tabela 26. Charakterystyki liczbowe parametrów kątowych rotacji wokół osi z dla kończyny<br>górnej zakroczonej i atakującej [°]. | 78 |
| Tabela 27. Charakterystyki liczbowe parametrów kątowych rotacji wokół osi z dla przedramienia<br>kończyny górnej atakującej [°]. | 79 |

#### TABELE UJĘTE W ANEKSIE

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 1. Kinogramy najlepszych płotkarzy w trakcie pokonania płotka na dystansie 110 m przez<br>płotki. ....                       | 105 |
| Tabela 2. Prawdopodobieństwo Test Wilcoxon'a w momencie przygotowania do odbicia dla<br>czterech wariantów biegu przez płotki. .... | 107 |
| Tabela 3. Prawdopodobieństwo Test Wilcoxon'a w momencie odbicia dla czterech wariantów<br>biegu przez płotki. ....                  | 108 |
| Tabela 4. Prawdopodobieństwo Test Wilcoxon'a w momencie pozycji "nad" płotkiem dla<br>czterech wariantów biegu przez płotki. ....   | 109 |
| Tabela 5. Prawdopodobieństwo Test Wilcoxon'a w momencie lądowania dla czterech wariantów<br>biegu przez płotki. ....                | 110 |
| Tabela 6. Prawdopodobieństwo Test Wilcoxon'a w momencie przygotowania do biegu dla<br>czterech wariantów biegu przez płotki. ....   | 111 |
| Tabela 7. Prędkości dla wybranych segmentów w analizowanych momentach podczas marszu<br>przez płotki [m/s]. ....                    | 112 |

## Streszczenie

Biegi przez płotki to widowiskowa i niepowtarzalna konkurencja. Warunkiem uzyskania wysokich rezultatów są cztery czynniki (szybkość-wytrzymałość- siła-technika), które są scalone w specyficzny dla tej konkurencji „rytm” płotkarski. Wysoki poziom rozwoju techniki sportowej w biegu przez płotki stanowi kluczowy element do uzyskania wysokiej klasy wyników. Analiza techniki pokonania płotka jest jednym z niezwykle istotnych czynników kontroli procesu treningowego oraz stanowi nieodzowny fragmentem dla rozwoju podstawowych zdolności motorycznych.

Warto podkreślić iż biegi przez płotki wchodzą w skład programu nauczania wychowania fizycznego w szkołach podstawowych i liceach ogólnokształcących. Dlatego też, ważne jest opanowanie złożonych umiejętności technicznych w biegach i ćwiczeniach płotkarskich, które jednocześnie angażują wszystkie zdolności motoryczne. Dodatkowo obserwowana poprawa rekordów świata w biegach przez płotki skłania do analizy metod treningowych mających na celu poprawę skuteczności pokonania płotka (Geux 2012).

Zagłębiając się w literaturę naukową można zauważyć, obszernie zilustrowany dział poświęcony technice biegu przez płotki. Poruszona tematyka w publikacjach naukowych obejmuje szeroki wachlarz zagadnień od „modelu” techniki płotkarskiej, budowy somatycznej, ułożenia ciała w poszczególnych momentach pokonania płotka, lateralizacji, istoty „rytmu” płotkarskiego, jak również aspektów związanych z biomechaniczną oceną kroku płotkowego. W praktyce badań nad strukturą biegu przez płotki naukowcy skupiając uwagę na fragmencie pokonania płotka, z akcentem na parametry kinematyczne kończyn dolnych, prawie całkowicie pomijając kończyny górne.

Celem pracy była ocena ruchu kończyn górnych podczas pokonania płotka w biegu przez płotki oraz w ćwiczeniach specjalnych z uwzględnieniem techniki pokonywania płotków na obydwie kończyny dolne. Dla realizacji celów pracy potrzebna była weryfikacja hipotez obejmująca problematykę z pogranicza teorii naukowych i praktyki treningu sportowego. Problemy w pracy dotyczą określenia struktury techniki kończyn górnych podczas pokonania płotka w biegu oraz ćwiczeniach specjalnych będących podstawą w procesie szkolenia płotkarskiego. Problemy zawarte w pracy dotyczą oceny jakościowej i ilościowej techniki ruchu kończyn górnych.

W badaniach przeprowadzonych w latach 2018-2019 uczestniczyły trzy grupy badawcze. Pierwszą stanowili studenci Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Raciborzu (n=45, wiek: 20-23 lat), drugą zawodnicy specjalizujący się w biegach przez płotki, w kategorii młodzieżowiec (n=35, wiek: 19-23 lat) oraz trzecią reprezentowali zawodnicy kadry narodowej i reprezentanci

Polski (z minimum I klasą sportową,  $n=13$ ; wiek= 20-29). Badania przeprowadzono w ramach projektu badawczego: „Biomechaniczne i treningowe aspekty ćwiczeń specjalnych w biegach przez płotki”, który zyskał aprobatę Komisji Bioetycznej AWF Katowic.

Badania objęły: jakościową analizę techniki ruchu kończyn górnych na dystansie 60 m przez płotki (I i II grupa badawcza) oraz analizę ilościową dotyczącą parametrów przestrzennych kończyn górnych. Na strukturę ruchu kończyn górnych w marszu przez płotki składały się prędkości liniowe poszczególnych segmentów kończyny oraz charakterystyki (wykresy) trajektorii ruchu. W analizie pokonania trzeciego płotka w biegu po wirażu wykorzystano model 3D, który służył do określenia konfiguracji postaci ludzkiej, tj. pozycji i orientacji w przestrzeni, a także kątów pomiędzy poszczególnymi segmentami parametrów biomechanicznych (przykładowo: odległość środka ciężkości od poszczególnych segmentów kończyny górnej oraz rotacje dla poszczególnych stawów). Na podstawie tak zdobytych informacji możliwe było poznanie techniki ruchu kończyn górnych podczas pokonania płotka.

Zebrany materiał pomiarowy opracowano za pomocą podstawowych miar statystycznych. Dla każdej zmiennej sprawdzono zgodność z rozkładem normalnym z wykorzystaniem testu Shapiro-Wilka. Brak Gausowskiego charakteru zmiennych spowodował, że wszystkie stosowane testy statystyczne były testami nieparametrycznymi. W przypadku analizy porównawczej techniki pokonywania płotka wśród grup o zróżnicowanym poziomie przygotowania technicznego zastosowano test niezależności chi-kwadrat. Do analizy różnic pomiędzy poszczególnymi próbami zastosowano test Wilcoxon'a dla danych sparowanych (zależnych). W przypadku porównania parametrów marszu w obrębie jednej próby w trzech momentach zastosowano test MANOVA (nieparametryczny odpowiednik analizy wariancji). Analiza porównawcza prędkości liniowych kończyny dominującej i ustępującej wykonana została z wykorzystaniem testu U-Manna Whitneya.

Próby oceny techniki ruchu kończyn górnych w grupie studentów wychowania fizycznego oraz zawodników specjalizujących się w biegu przez płotki zostały prawidłowo zdefiniowane. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że:

1. Zmiany techniki ruchu kończyn górnych podczas biegu sprinterskiego przez płotki, różnią się w grupie studentów wychowania fizycznego i wyczynowych zawodników. Technika ruchu obu kończyn górnych różnicuje obie grupy badawcze w momencie lądowania. Zmiany zgięcia stawu łokciowego dla zakrocznej i atakującej kończyny górnej różnicują badane grupy we wszystkich trzech momentach pokonania płotka.
2. Podczas ćwiczeń specjalistycznych wykonywanych w marszu wybór kończyny dolnej ma wpływ na parametry kinematyczne kończyn górnych. W większości przypadków marszu przez

płotki próba na dominującą kończynę dolną charakteryzowała się większymi prędkościami we wszystkich analizowanych momentach.

3. Do najbardziej istotnych zmian ruchu kończyn górnych podczas pokonania płotka w dwóch próbach biegu na jednoimienną kończynę dolną należy parametr rotacja wokół osi x. Płotkarze uzyskują mniejsze zmiany kątowe dla ramienia obu kończyn górnych podczas wyboru lewej kończyny dolnej atakującej płotek (kończyna dominująca).

Badania dowiodły, że problematyka techniki ruchu kończyn górnych jest złożona i intrygująca z naukowego i aplikacyjnego punktu widzenia. Struktura ruchu kończyn górnych jest na tyle zindywidualizowana, że trudno ją jednoznacznie określić. Wyniki analiz mogą być wykorzystane w treningu sportowym jak również w nauczaniu i metodyce biegów przez płotki.

## Summary

Hurdling is a spectacular and unique competition. Four aspects are required to obtain high results (speed-resistance-strength-technique), which are combined to form a specific in this competition hurdling “rhythm”. High level development of sport technique in hurdling is a key element to obtain high-class results. Technique analysis of overcoming a hurdle is one of the crucial control elements of the training process and it is an indispensable piece in the development of basic motor skills.

It is worth noting that hurdling is a part of physical education program at primary schools and high schools. It is therefore important to master complex technical skills in hurdle run and exercise, which simultaneously engage all motor skills. Additionally observed improvement in hurdling world records prompts to analyze the training methods in order to improve efficacy of overcoming a hurdle (Geux 2012).

Delving further into scientific literature widely illustrated section dedicated to hurdling technique can be noticed. Subject matter from scientific publications involves a broad spectrum of issues: the “model” of hurdling technique, somatic build, body position at particular moments of overcoming a hurdle, lateralization, the essence of hurdling “rhythm” as well as the aspects associated with the biomechanical evaluation of hurdle step. In studies concerning hurdling scientists focus on the part of overcoming a hurdle, emphasizing the kinematic parameters of lower limbs and almost completely overpassing the upper limbs.

The aim of this paper was the evaluation of upper limb movement during the hurdle clearance in hurdle race and during special exercises taking into consideration the technique of overcoming a hurdle with both lower limbs. To achieve the paper objectives the hypotheses involving issues from the borderline of scientific theories and sport training practice were verified. Issues presented in the paper involve defining the technique structure of the upper limbs while running through hurdle and during special exercises, which are the basis of the hurdling training. Problems defined in the paper refer to qualitative and quantitative evaluation of the upper limbs movement technique.

Studies conducted in 2018-2019 involved three study groups. First group involved the students of the State Higher Vocational School in Raciborz (n=45, age: 20-23 years), second group involved hurdlers, under 23 category (n=35, age: 19-23 years) and third group involved the competitors from the national team and Polish representatives with minimum first sport class, (n=13; age: 20-29). The studies were conducted under the research project: “Biomechanical and



training aspects of special exercises in hurdling” which was approved by the Ethics Committee of AWF in Katowice.

The studies involved: qualitative analysis of the upper limbs movement technique in 60 meters hurdles (I and II study group) and quantitative analysis of the upper limbs spatial parameters. The movement structure of the upper limbs in hurdle marching implicated linear speed of each limb segment and trajectory characteristics (graphs). The analysis of overcoming the third hurdle in running on the curve used 3D model, which allows to establish the human body configuration, i.e. position and spatial reasoning as well as angles between each segment of biomechanical parameters (for example: center of gravity distance from respective segments of the upper limb and rotations for individual joints). On the grounds of the information obtained this way it was possible to discover the upper limbs movement technique upon overcoming a hurdle.

Gathered measurement material was established with basic statistics measurements. The compliance with normality of each variable was checked with Shapiro–Wilk test. Lack of Gaussian characteristics in the variables made all the test applied to be non-parametric tests. Comparative analysis of the technique of overcoming a hurdle among groups with different technical levels used Chi-Square test of independence. Wilcoxon test for paired data (dependent data) was used to analyze the differences between the samples. MANOVA test was used to compare march parameters in one sample at three moments (nonparametric equivalent to variance analysis). Comparative analysis of linear speed in reference to dominant and opposite leg was performed with Mann–Whitney U test. Upper limb movement technique evaluations in physical education students group and hurdling competitors were correctly defined.

Based on the results obtained, it was found that:

1. There are differences in the change of the upper limbs movement technique during sprint hurdling, between the group of physical education students and the group of high-performance athletes. Movement technique of both limbs diversifies both study groups at landing. Changes in elbow joint flexion for trail and attacking upper limb differentiate the study groups at all three moments of overcoming a hurdle.
2. During specialized exercises performed while marching the selection of lower limb impacts the kinematic parameters of upper limbs. In most cases of hurdle marching the trial with dominant lower limb was characterized by greater speed in all analyzed moments.
3. X axis rotation is the parameter with the most important change in the upper limb movement during overcoming a hurdle in two runs trial with homonymous lower limb. Hurdlers gain lower angle change in the shoulder for both upper limbs while they choose left lower limb as attacking one (dominant limb).

Studies have shown that the problem of upper limb movement technique is complex and intriguing from the scientific and adaptation point of view. Upper limbs movement structure is individualized and it is hard to define it explicitly. The analysis results may be used in sport training as well as in hurdle training and methodology.