

Janusz Iskra

Strategia biegu na 400 m przez płotki mężczyzn

Analiza empiryczna z aplikacyjnym przestaniem

45,94/46,78/47,19/47,23/47,25/47,25/47,30/47,43/47,48
47,53/47,54/47,60/47,69/47,70/47,73/47,75/47,79/47,82
47,92/47,98/48,12/48,44/48,44/48,51

Adkins/Akabusi/Akii-BuaBett/Al-Somalyi/Bett Carter/Clement/Culson
Dia Ba/Diagana/Gordon/Hemery/Jackson/Januszewski/Mann/Matete
Mori/Moses/Phillips/Sanchez/Schmid/Taylor/Young/Warcholm

1968/1972/1972/1982/1984/1988/1988/1990/1992/1993
1993/1997/2000/2000/2001/2003/2005/2005/2008/2011
2013/2015/2016/2021

Ateny/Ateny/Barcelona/Deagu/Edmonton/Helsinki/Helsinki/Los Angeles
Mexico City/Monachium/Moskwa/Paryż/Pekin/Pekin/Rio de Janeiro
Seul/Seul/Split/Stuttgart/Stuttgart/Sydney/Sydney/Tokio

Studia i Monografie

z. 578

Janusz Iskra

Wydział Wychowania Fizycznego i Fizjoterapii

**Strategia biegu na 400 m przez płotki mężczyzn
Analiza empiryczna z aplikacyjnym przesłaniem**

45,94 46,78 47,19 47,23 47,25 47,25 47,30 47,43 47,48 47,53 47,54
47,60 47,69 47,70 47,73 47,75 47,79 47,82 47,92 47,98 48,12 48,44
48,44 48,51

**Adkins Akabusi Akii-Bua Al-Somalyi Bett Carter Clement Culson Dia Ba
Diagana Gordon Hemery Jackson Januszewski Mann Matete Mori
Moses Phillips Sanchez Schmid Taylor Young Warholm**

1968 1972 1972 1982 1984 1988 1988 1990 1992 1993 1993 1997
2000 2000 2001 2003 2005 2005 2008 2011 2013 2015 2016 2021

**Ateny Barcelona Deagu Edmonton Helsinki Los Angeles Mexico City
Monachium Moskwa Paryż Pekin Rio de Janeiro Seul Split Stuttgart
Sydney Tokio**

ISSN 1429-6063

ISBN 978-83-66903-34-0



Opole 2023

POLITECHNIKA OPOLSKA

POLITECHNIKA OPOLSKA

KOMITET REDAKCYJNY

Małgorzata ADAMSKA, Piotr GÓRSKI, Mariusz MIGAŁA
Piotr NIESŁONY – przewodniczący, Dariusz ROZUMEK
Beata ŚWIERCZEWSKA, Marek WASILEWSKI, Stefan WOLNY

Recenzenci:

dr hab. Jakub G. Adamczyk
prof. Akademii Wychowania Fizycznego w Warszawie
dr hab. Hubert Makaruk
prof. Akademii Wychowania Fizycznego w Warszawie

Redaktor
Mariusz Migala

Komitet Redakcyjny Wydawnictw Politechniki Opolskiej
ul. Prószkowska 76

© Copyright by Politechnika Opolska 2023

Skład: Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej.
Ark. wyd. 21,0. Ark. druk. 22,0.
Publikacja wydana w formie pliku PDF.

Podziękowania:

1. Mitsuko Otsuka (Ritsumeikan University, Kyoto, Japonia), Kenny Guex (Haute Ecole de Sante Vaud, Szwajcaria), dr hab. Arkadiusz Stanula (Akademia Wychowania Fizycznego w Katowicach), prof. Krzysztof Maćkała (Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, – współ-praca w realizacji projektów cząstkowych
2. Dr hab. Krzysztof Przednowek, dr Bartosz Dziędek (Uniwersytet Rzeszowski) – pomoc w opracowaniu końcowego rozdziału
3. Jean-Jacque. Behm i Sylvain Dubail (Francja) – za udostępnienie materiałów statystycznych i pomoc w identyfikacji danych
4. dr Anna Walaszczyk – pomoc w dokumentacji dziesiątków tysięcy danych i w redakcji tekstu.

Projekt okładki – Autor

Okładka stanowi specyficzny quiz polegający na połączeniu 4 elementów (wynik, zawodnik, miejsce, data) w odniesieniu do 20 biegów na 400 m przez płotki wykorzystane do analiz zamieszczonych w pracy

Dla mojej Mamy.
*Jej ogrody były dużo bardziej rozbudowane od moich 10 płotków
rozstawionych na dystansie 400 m*

Spis treści

Wstęp.....	7
Fragment recenzji.....	11
Skróty i symbole zamieszczone w pracy.....	13
1. Część wstępna	15
1.1. Strategia tempa w biegach lekkoatletycznych – podstawowe informacje z uwzględnieniem biegów sprinterskich	17
1.2. Bieg na 400 m przez płotki – charakterystyka konkurencji z uwzględnieniem strategii biegu	25
1.3. Historia biegu na 400 m przez płotki mężczyzn z akcentem na strategię biegu	29
2. Część metodologiczna	51
2.1. Materiał	53
2.2. Metodologia podstawowa	57
2.3. Podział dystansu	61
2.4. Wybór zmiennych	75
3. Analizy podstawowe	99
3.1. Parametry podstawowe – budowa ciała, przygotowanie motoryczne i techniczne oraz przebieg mistrzostwa sportowego	101
3.2. Parametry czasowe (<i>split times</i>)	117
3.2.1. Podstawowe zmienne czasowe.....	117
3.2.2. Parametry czasowe dodawane.....	125
3.2.3. Parametry czasowe szacowane.....	135
3.2.4. Przeliczniki prędkościowe zmiennych czasowych.....	139
3.2.5. Różnice parametrów czasowych.....	141
3.2.6. Proporcje parametrów czasowych.....	145
3.2.7. Wskaźniki czasowe.....	148
3.2.8. Międzyczasy w ocenie strategii biegu na 400 m przez płotki.....	153
3.3. Parametry przestrzenne – liczba kroków	159
3.4. Parametry „rytmowe” – <i>stride pattern</i>	169
3.5. Parametry pośrednie (czasowo-przestrzenne) w ocenie strategii biegu na 400 m przez płotki	175
3.6. Asymetria funkcjonalna w biegu na 400 m przez płotki – wybór między dominacją nogi atakującej a specyfiką dystansu	197
3.7. Parametry strategiczne – „taktyka” biegu a końcowe wyniki	205
3.8. Parametry regulaminowe – tor biegu a możliwości uzyskania najlepszych wyników	207

4. Analizy tematyczne	215
4.1. Historyczne zmiany strategii biegu na 400 m przez płotki mężczyzn	215
4.2. Strategia tempa biegu na 400 m przez płotki z uwzględnieniem charakterystyk czasowo-przestrzennych najlepszych zawodników świata	221
4.3. Poziom sportowy a strategia biegu na 400 m przez płotki mężczyzn	235
4.4. Budowa ciała a strategia biegu na 400 m przez płotki mężczyzn	241
4.5. Typ „rytmu” płotkarskiego a wybór strategii biegu na 400 m przez płotki	251
4.6. Zmiany strategii biegu na 400 m przez płotki mężczyzn po 3 sierpnia 2021 roku	267
4.7. Metody matematyczne w ocenie strategii biegu na 400 m przez płotki	279
4.8. Analizy nie ujęte w pracy - uwagi dla przyszłych autorów	295
Piśmiennictwo	297
Streszczenie/Summary	329
Aneks	333
Spis tabel i rycin	337

Wstęp

„Wymagający szybkości, siły, zwinności i precyzji, bieg na 400 m przez płotki historycznie uważany jest za jedną z najbardziej wymagających konkurencji lekkoatletycznych”

(Orginalnie – „*Demanding speed, strength, agility and precision, the 400m hurdles is historically regarded as one of track and field's most demanding events*”; Zdanie wprowadzające do hasła “400 Metres Hurdles”/www.worldathletics.org/oficjalna strona IAAF; 2.10.2022).

W 1991 r. wykonałem pierwszą analizę strategii biegu na 400 m przez płotki (ppł lub czasami 400 mH) – Iskra 1991a. Od tego czasu minęło 30 lat i nadal ten problem jest inspirujący i często zagadkowy.

Dystans 400 m przez płotki to jedna z najbardziej eksponowanych konkurencji lekkoatletycznych. Aktualnie w sieci internetowej publikowane są materiały w trzech niezależnych czasopismach „400mH” – w USA (Steve McGill – „*Hurdles First*”), w Wielkiej Brytanii (Nick Dakin – „*www.hurdlecentra.com*”) oraz we Francji („*4HWorld*” – Sylvian Dubois i Jean Jacques Behm).

Konkurencja lekkoatletyczna – bieg na 1 okrążenie przez płotki od 180 lat przeszedł szereg zmian – od zupełnie abstrakcyjnych form (pierwszy „rekordzista”, zawodowy biegacz z Anglii Archibald Dumbrick, w Comiston 29 kwietnia 1941 r. dystans 500 m przez 25 płotków o wysokości 4 stóp (= 121,92 cm) pokonał w 3 min. i 10 s, co w przeliczeniu na 400 m dawało 2:31,7 s) do „kosmicznych” butów nowego rekordzisty świata Karstena Warholma. (Törmä 2020).

Jednym z etapów ewolucji dystansu 400 m przez płotki była pełna normalizacja dystansu, akceptująca wyłącznie dystans metryczny. W nomenklaturze anglojęzycznej 35 m to 38,3 jardów a wysokość płotka to 36 cali (91,4 cm). Według Quarcetaniego (2009) w krajach anglojęzycznych funkcjonował dystans „korespondencyjny” 440 jardów, powiększony o 2,34 m, dodane w czasie „wybiegu”, czyli odcinka finiszowego. Tym samym nastąpiło pogodzenie pierwotnej formy jardowej z klasyką dystansu metrycznego.

Rozwój biegu na 400 m przez płotki mężczyzn przebiegał od inauguracyjnej próby z 1841 r., poprzez historię rekordowych osiągnięć (Davis G., Akii-Bua, Moses, Young) do Igrzysk w Tokio (2021) i szokującego specjalistów wyniku Warholma. W tm czasie obowiązywały różne przepisy, teorie treningowe, typologie zawodników itp. W tym zestawie ważne miejsce zajmowała strategia biegu – często nazywana taktyką, czy, uwzględniając międzynarodowe standardy – „*stride pattern*” i „*split times*”.

Rok 2021 był wyjątkowy pod względem rozwoju biegu na 400 m przez płotki.

W okresie przygotowań do przełożonych (z powodu pandemii) o rok Igrzysk Olimpijskich w Tokio w odstępie tygodnia padły rekordy świata w kategorii kobiet i mężczyzn. Najpierw Sydney McLaughlin, 27 czerwca, w czasie Olympic Trial na Hayward Field w Eugene, jako pierwsza kobieta na świecie pokonała granicę 52 s uzyskując 51,90 s. W ten sposób Amerykanka pobiła 18-letni rekord świata Rosjanki Julii Pieczonkiny. Cztery dni później, 1. lipca na *Bislett Stadium* w Oslo, Norweg Karsten Warholm pobił legendarny rekord świata Kevina Younga z Igrzysk w Barcelonie w 1992 r. (46,78 v. 46,70 s).

To co zdarzyło się w przeciągu dwóch dni na Olympic Stadium w Tokio przewartościowało światowy bieg na dystansie 400 m przez płotki.

Wyniki finałowych biegów na Igrzyskach Olimpijskich w stolicy Japonii:

Mężczyźni (03.08.2021 r.)

1. Karsten Warholm (Norwegia) – 45,94 s (pierwszy wynik w historii poniżej 46 s, wynik lepszy od poprzedniego rekordu świata o 0,76 s)
2. Rai Benjamin (USA) – 46,17 s (wynik lepszy od poprzedniego rekordu Warholma o 0,53 s)
3. Alison Dos Santos (Brazylia) – 46, 72 s (trzeci wynik w historii światowej lekkoatletyki).

Kobiety (04.08.2021 r.):

1. Sydney McLaughlin (USA) – 51,46 s (rekord świata lepszy od poprzedniego o 0,44 s)
2. Dalilah Muhammad (USA) – 51,58 s (wynik także lepszy od poprzedniego rekordu świata)
3. Femke Bol – (Holandia) – 52,03 s (trzeci wynik w historii lekkoatletyki).

Zdobywcy obydwu brązowych medali urodzili się już w XXI wieku. (rocznik 2000).

Ciąg dalszy „rewolucji” w biegu na 400 m przez płotki nastąpił rok później, na Mistrzostwach Świata w Eugene, na których Brazylijczyk Alison Dos Santos poprawił swój wynik na 46, 29 s, a Sydney McLaughlin dołączyła do „kosmicznego” rekordu Warholma, pokonując granicę 51 s (50,68 s).

Publikacje dotyczące biegu na dystansie mają ponad 100-letnią tradycję. Początkowo „płotkarska wiedza” pochodziła od trenerów i badaczy angielskich (Shearman 1887, Webster 1922, 1929, 1931, Tisdall 1934, a później – Cooper 1966, Arnold 1974, Hemery 1976 i obecne pozycje zamieszczone w sieci – Silvey 2012, 2013, 2020) i amerykańskich (Comstock 1929, Doherty 1953, i dalej – Wilt 1973, 1984, Winckler 1983, 1984, 1989, 2008, Gambetta 1975, 1981, czy współczesne propozycje Hisermana 2008, 2011). Po II wojnie światowej aktywni byli szkoleniowcy z byłego Związku Radzieckiego (Korobkow 1953, Jonow 1955, Ostapienko 1959, Litujew 1962, Sadowski 1967, Bułanczik 1975, 1976, 1982, Dołgij 1974, 1976, 1980, Julin

1975, 1985, Juszko 1975, 1987, Razumowski 1975, 1977, 1987, Makarow 1977, Otrubiannikow 1989, Chomienkow 1987, Brejzer (z różnymi współautorami) 1973, 1982/2, 1983/2, 1984, 1986, 1988, 1993, Wróblewski 1990).

Analizując „narodowe” piśmiennictwa związane ze strategią biegu na 400 m przez płotki (pojmowaną różnorodnie) nie należy zapominać o tradycjach piśmiennictwa niemieckiego (Hoke 1943, Nett 1961, 1969, później – Ziegler 1972, Schmolinsky 1978, Schröter 1979, Schlosser 1991, czy zestaw publikacji małżeństwa Letzleler – 1973, 1978, 1979, 1990, 1995) i francuskiego (głównie Le Masurier 1952, 1977/2).

Dostępność źródeł południowych sąsiadów Polski (Czechów i Słowaków) pozwoliła na analizę piśmiennictwa (Dostal 1971, 1973, 1974, Novak 1973, 1974, 1982, Susanka 1973, 1987, 1988, 1990, Lacho 1976, 1986, Kostial i wsp. 1977, 1978, 1979, Matousek i wsp. 1980, 1985, 1987/2, 1989, Kampmiller 1986, Cilik 2012).

Wyliczając „szkoły” biegu na 400 m przez płotki nie można pominąć analiz z Polski (Dobrowolski i Maszewski 1951, Gralka 1962, 1964, Puzio 1964, 1974, 1986, Dobczyński 1985, autorzy analiz empirycznych w ramach prac promocyjnych (Erdmann 1975, 1976, Kotlarski 1975, Januszewski 2004, Adamczyk 2007, 2009, 2010/2, 2012, Gasilewski 2007–2014, Hyjek (2010–2017), Przednowek 2014–2017, Lipińska 2015).

Publikacje związane ze zdobywaniem kolejnych stopni i tytułów naukowych dotyczy także prac autorów spoza Polski (Czistiakowa 2001, Bollschweiler 2008)

W polskie źródła wiedzy o strategii biegu na 400 m przez płotki wpisuje się także autor tej pracy (pozycje z lat 1991–2021).

Analiza problemu nie może pominąć cyklicznych publikacji zwartych redagowanych przez specjalistów redagowanych przez niekwestionowanych specjalistów. W tej grupie należy wyróżnić dwa źródła.

Mike McFarlane (1948–2019) to trener kanadyjski, opiekun sprinterów i płotkarzy tego kraju na Igrzyskach w 1980, 1984 i 1988 r., wykładowca na University of Waterloo (*Kinesiology and Science*) autor ponad 500 artykułów (!), głównie o tematyce płotkarskiej. W roku 1976 opublikował „**The art and science of hurdling**” – podręcznik treningu biegów przez płotki (także 400 m) który doczekał się pięciu wydań – poprawionych i ciągle uzupełnianych (1976, 1981, 1988, 2000 i 2004).

Jess Jarver to kompilator wiedzy lekkoatletycznej w zakresie treningu i zagadnień periodyzacji szkolenia w różnych grupach konkurencji. W latach 1981–2004 (1981, 1991, 1997, 2004) pod jego redakcją ukazały się cztery tomy monografii „**The hurdles. Contemporary theory, technique and training**”, z obszernymi częściami „*The 400m hurdles*”. Publikacje zawierały wybrane artykuły z różnych, renomowanych czasopism wydawanych na całym świecie.

Warto zwrócić uwagę na publikacje prosto z dysertacji magisterskich, doktorskich i innych (Ziegler 1972, Erdmann 1976, Matousek 1980/1989, Schlicht 1988, Schlosser 1991, Kotlarski 1995, Iskra 2001, Januszewski 2004, Bollschweiler 2008, Ledowska 2009, St. Paul 2013, Hyjek Jolanta. 2014, Hyjek-Młynarczyk Katarzyna 2020).

Analizując problematykę strategii biegu na 400 m przez płotki trudno pominąć poglądy szkoleniowców publikujących w podręcznikach lekkoatletycznych (Webster 1922–1931, Homienkow 1950, 1987, Le Masurier 1952–1976, Korobkow i wsp. 1953, Ostapienko 1959, Dyson 1962, Tosnar i Tasto 1963, Wilt 1973/1984, Leczo 1976, 1986, Schmolinsky 1978, Schröter 1979, Ozolin i Woronkin 1979, Billouin 1985, Kampmiller 1986, Warden 1986, Jolly 1989, Torim 1989, Brown 1991ab, Carr 1991, Jonath i wsp. 1995).

Analizując specyficzne problemy biegu na 400 m przez płotki często sięga się po badania porównawcze dotyczące dystansu krótszego (110 m przez płotki – Paish 1976) lub dłuższego (3000 m z przeszkodami – Kaufmann 1976)

W ostatnim okresie pojawiło się kilka pozycji zwartych, w których autorzy poszukują wieloaspektowych „recept” na wybór i realizację optymalnej strategii biegu na 400 m przez płotki (Haughton 2016, Ozaki i Ueda 2019b). Warto zwrócić uwagę na liczne próby kompleksowego traktowania strategii biegu na 400 m przez płotki (Guzman 2013). Praca ta dołącza do poszukujących naukowców i trenerów.

Praca ma cztery wymiary:

1. Podstawowe wiadomości z obszaru historii, treningu i przebiegu mistrzostwa sportowego w biegu na 400 m przez płotki.
2. Analizę naukową.
2. Omówienie wyników badań ważnych dla dwu grup – naukowców i trenerów
3. Inspiracje dla trenerów opracowujących konkretne rozwiązania treningowe.

Uwagi dotyczące piśmiennictwa

W pracy źródła piśmiennictwa zaprezentowano na trzy różne sposoby:

1. Podstawowe źródła (w pełni udokumentowane) zamieszczono w rozdziale końcowym
2. Źródła dotyczące wyłącznie danej części pracy podano (ze szczegółami) na końcu rozdziału.
3. Inne źródła (nie umieszczone w tekście), opisujące podobną problematykę, uwzględniono dodatkowo jako „Piśmiennictwo uzupełniające”.

Fragmenty recenzji

Dr hab. Jakub Adamczyk, prof. AWF, Dziekan Wydziału Wychowania Fizycznego, kierownik Katedry Teorii Sportu, Sportów Wodnych i Zimowych Akademii Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie. Wcześniej czołowy polski płotkarz na 400 m, 10-krotny finalista mistrzostwa Polski (2002–2014), później – mistrz świata „Masters” (M35) w biegu na 400 m przez płotki (2015, Lyon).

Fragmenty recenzji

„Rozwój sportu to coraz większe możliwości pozyskiwania ogromu danych, które rodzą konieczność ich syntezy i wyciągania wniosków aplikacyjnych. Tak też poczytuję przedstawioną do recenzji pozycję autorstwa prof. Janusz Iskry. Autor jest wybitnym polskim trenerem specjalizującym się w biegu na 400 m ppł, a do tego znakomitym naukowcem-praktykiem, co samo w sobie stanowi niejako gwarancję wysokiego poziomu pracy i jej wartości aplikacyjnych.

Za cenne uważam wskazanie przez Autora potencjalnych kierunków dalszych badań i analiz, co wskazuje na dojrzałość i świadomość co do złożoności problemu.

Liczne odniesienia do przykładów oraz wiedzy trenerskiej powodują, że książka ma szansę stać się istotną pozycją w księgozbiórce badaczy, trenerów i instruktorów.

Uważam, że pozycja przedstawiona do recenzji jest potrzebna i oczekiwana przez trenerów, studentów czy świadomych zawodników. Myślę, że książka będzie bardzo wartościowym narzędziem w ręku osób zainteresowanych lekkoatletyką i biegiem na 400 m przez płotki, a zatem z pełnym przekonaniem rekomenduję jej publikację przez Wydawnictwo Politechniki Opolskiej”

W odpowiedzi:

Szanuję pogląd prof. Adamczyka sugerującego zastąpić pojęcie „strategia” tradycyjną „taktyką”. Pomijając wyjaśnienia ujęte w tekście wydaje mi się, że termin „strategia” ma w sobie nie tylko element aktualnego stanu, również kreację nowej rzeczywistości, planu biegu na przyszłość. Myślę, że recenzent nie obrazi się, jeśli zostawię pierwotną wersję, akceptowaną przez renomowane czasopisma.

Dr hab. Hubert Makaruk, prof. AWF, Dziekan Wydziału Wychowania Fizycznego i Zdrowia w Białej Podlaskiej. Zastępca redaktora naczelnego „Polish Journal of Sport and Tourism”. Dawniej skoczek w dal (7,89 m), później trener kadry narodowej w skoku w dal i trójskoku.

Fragment recenzji:

„Niniejsza praca, łącząca wysoko specjalistyczną wiedzę – ukonstytuowaną przez wieloletnie badania naukowe – z doświadczeniem szkoleniowym popartym wieloma sukcesami – może zainteresować szerokie gremia odbiorców, w tym przede wszystkim trenerów lekkiej atletyki oraz badaczy, którzy zainteresowani są implementacją wiedzy do praktyki sportowej.

Przedłożona do recenzji monografia jest opracowaniem wielowymiarowym. Jak wskazuje sam Autor, mieści ona w sobie podstawowe wiadomości z obszaru historii, treningu i mistrzostwa sportowego, ale i również prezentuje warsztat metodologiczny pracy badawczej oraz przesłanki aplikacyjne – sformułowane wprost do trenerów. Poddana recenzji monografia naukowa to kompendium wiedzy z zakresu biegu przez płotki – konkurencji, która posiada bardzo duży potencjał oddziaływania na inne umiejętności ruchowe wykorzystywane w wielu różnych sportach. Autor koncentruje się głównie na strategii biegu na 400 m przez płotki, upatrując w tym komponente procesu treningowego podstaw sukcesu sportowego w tej lekkoatletycznej konkurencji.

Analizy tematyczne to część zawierająca efekty pracy różnych zespołów badawczych, którymi kierował Profesor Iskra. Warto podkreślić, że również z udziałem badaczy z innych krajów. W tym miejscu podjęto takie zagadnienia jak: historyczne zmiany strategii biegu na 400 m przez płotki, strategie tempa biegu z uwzględnieniem charakterystyk czasowo-przestrzennych najlepszych zawodników świata, poruszono także problematykę budowy ciała, typów „rytmu” płotkarskiego oraz wykazano użyteczność metod matematycznych w ocenie strategii biegu na 400 m przez płotki.

Podsumowując, przedłożona do oceny monografia w pełni zasługuje na publiczną prezentację i upowszechnienie treści w niej zawartych, zarówno w formie cyfrowej, jak i drukowanej. Co warto podkreślać, opracowanie przygotowane przez Profesora Iskrę to doskonała pozycja dla każdego trenera, poszukującego inspiracji i solidnych podstaw pracy szkoleniowej, niezależnie od specjalizacji sportowej”.

Skróty i symbole zamieszczone w pracy

Tabela 0.
Skróty i symbole

Lp.	Skrót	Charakterystyka	Przykład
1	400 mH	Bieg na 400 m przez płotki (400 m ppł)	
2	HS/HJ	Podstawowy segment biegu (jednostka płotkarska – 35 m) – <i>hurdle's segment</i>	t ₆₋₇ , n ₅₋₆
3	1-2 3-5	Podstawowe części biegu Dodawane części biegu	t ₁₋₂ , n ₂₋₃ ...t _{10-F} T ₇₋₁₀ , N ₃₋₅ ,
4	n N	Pojedynczy, konkretny płotek Kilka płotków	n ₁ , n ₂ ...n ₁₀ N ₁₋₃ , N ₅₋₁₀ ...
4	t ₁₋₂ ... t _{best} , t _{worst} T ₁₋₃ ...	Czasy podstawowych części biegu (JP-jednostka płotkarska) Czasy wybranych JP* Czasy dodawanych części biegu	t ₂₋₃ , t ₃₋₄ ... t _{first} , t _{last} T ₃₋₅ , T ₅₋₁₀ ...
5	v ₁₋₂ ... V ₁₋₃ ...	Prędkość podstawowych części biegu (JP) Prędkość dodawanych części biegu	v ₂₋₃ , v ₃₋₄ ... V ₃₋₅ , V ₅₋₁₀ ...
6	n ₁₋₂ ... N ₁₋₃ ...	Liczba kroków wykonywanych w podstawowych częściach biegu (JP) Liczba kroków wykonywanych w dodawanych częściach biegu	n ₂₋₃ , n ₃₋₄ ... N ₃₋₅ , N ₅₋₁₀ ...
7	l ₁₋₂ ... L ₁₋₃ ...	Długość kroków wykonywanych w podstawowych częściach biegu (JP) Długość kroków wykonywanych w dodawanych częściach biegu	l ₂₋₃ , l ₃₋₄ ... L ₃₋₅ , L ₅₋₁₀ ...
8	f ₁₋₂ ... F ₁₋₃ ...	Częstotliwość kroków wykonywanych w podstawowych częściach biegu (JP) Częstotliwość kroków wykonywanych w dodawanych częściach biegu	f ₂₋₃ , f ₃₋₄ ... F ₃₋₅ , F ₅₋₁₀ ...
9	L, R*	Kończyna dolna – atakująca – lewa i prawa	2R, 8L
10	O, E*	„Rytm” kroków nieparzysty (<i>odd</i>), parzysty (<i>even</i>)	3O+6E
11	PB	Rekord życiowy w wybranej konkurencji	PB400mH, PB400

*Do identyfikacji wybranych zmiennych w niektórych przypadkach użyto zwrotów angielskich. Szczegóły podziału zmiennych podano w tabeli 2.4.1.

Część wstępna

1.1. Strategia tempa w biegach lekkoatletycznych – podstawowe informacje z uwzględnieniem biegów sprinterskich

Strategia w lekkoatletycznych biegach

Zmiany prędkości biegu lub (w innym ujęciu problemu) zmiany czasu pokonywania kolejnych fragmentów dystansu, to podstawowy element tzw. strategii tempa biegu. W piśmiennictwie można zauważyć wiele określeń związanych ze zmianami prędkości (*pace strategies, distribution of energy, split times, tactical behaviours (decisions, considerations, intensity distribution)*) – ich zestawienie zawarto m.in. w monografii Patrycji Lipińskiej (Lipińska 2015).

Strategia tempa dotyczy cyklicznych dyscyplin sportu, m.in. lekkoatletycznych biegów, pływania, łyżwiarstwa szybkiego, kolarstwa, czy biegów narciarskich.

Poza rodzajem sportu czynnikiem determinującym strategię tempa jest czas trwania wysiłku. Tego typu analizy były prowadzone w biegach sprinterskich (Brüggemann and Müller 2009), biegach średnich (Gonzalez-Mohino i wsp. 2019, Renfree i wsp. 2014, Aragon 2016) oraz dystansów o dłuższym (także biegu maratońskiego) czasie trwania – Hanley 2015, Lima-Silva 2010. O zmianach czasu pokonywania kolejnych odcinków decyduje możliwość adaptacji do różnych zmian biochemicznych i fizjologicznych (od wysiłków beztlenowych, poprzez przemiany mieszane, do wysiłków tlenowych). Dane zawarte w piśmiennictwie przedstawiają różne strategie – od ekstremalnych (strategia totalna), poprzez bardziej zróżnicowane strategie pozytywną i różnego tempa oraz dyskusyjne strategie negatywną i zmienną (Lipińska 2015)

Badania strategii tempa mają stosunkowo niedługą historię, a do prekursorów ww. analiz zaliczany jest Carl Foster (m.in. Foster i wsp. 1994). W Polsce zagadnieniem tym zajmował się Włodzimierz Erdmann (Erdmann i wsp. 2006).

W pracy Casado i wsp. (2020) przedstawiono „profile tempa” (= *pace profiles*) oraz „zachowania taktyczne” (= *tactical behaviors*). Obszerny zakres analizy obejmował dystanse od 100 m do maratonu, włączając biegi przełajowe. Metaanaliza obejmowała światowe imprezy rangi mistrzowskiej (igrzyska olimpijskie i mistrzostwa świata) z okresu 2000–2020). Ostatnie prace Henley i Hettinga (2021) dowodzą różnej strategii czasowej sprinterów i płotkarzy w zależności od etapów rywalizacji.

Strategia biegu na 400 m (bez płotków)

Pierwsze próby oceny „zmian tempa biegu” w biegu ok.400 m ocenił Keller (1974). Fizyk sprzed 50. lat ustalił, że właściwa strategia „totalna” (- „all

out”) jest możliwa na dystansach biegowych do 291 m. Obecnie jedyną możliwą do przyjęcia strategią tempa na dystansie 400 m jest „strategia pozytywna”, uwzględniająca szybki start o wysokiej intensywności wysiłku (z prędkością, która nie jest maksymalna) oraz stopniowym obniżeniem prędkości biegu, wynikającego ze zmęczenia o charakterze glikolitycznym (Tucker i wsp. 2006, Thiel i wsp. 2012, Lipińska 2015).

Analizy związane z dystansem 400 m (bez płotków) związane są z pracami Pollitta i wsp. (2020). Autorzy komentują strategię tempa biegu na 400 m nie tylko z punktu widzenia zmian prędkości biegu, ale także z analizą fizjologii wysiłku o charakterze beztlenowym. W obydwu przypadkach (kobiety i mężczyźni) wzrost prędkości biegu następuje do końcowej części pierwszej prostej (200 m), po czym prędkość biegu zdecydowanie obniża się. Podobne wyniki uzyskano w analizie przeprowadzonej 20 lat wcześniej (Ferro i wsp. 2001).

Ciekawą próbę analizy strategii biegu na 800 m z uwzględnieniem pozycji zajmowanych po pierwszym okrążeniu (400 m) przeprowadzili Gonzalez-Mohino i wsp (2020).

Analizy przeprowadzone przez Letzelter S. i Eggers (2003) w czasie Mistrzostw Świata w 1997 i 1999 w grupie najlepszych 400-metrowców świata wykazały, że największe prędkości biegu na 400 m mają miejsce na odcinku 50–100 m, jednakże w przypadku mężczyzn czas przebiegnięcia tego odcinka ma negatywny wpływ na końcowy wynik. W związku z tym szybkie rozpoczęcie biegu (w tym przypadku płaskiego) może być przeszkodą w osiągnięciu końcowego rezultatu. W ocenie startu najlepszych 400-metrowców Mistrzostw Świata w 2009 r Hommel (2009) istotne znaczenie drugiej prostej (200–300 m) w opracowywaniu strategii biegu na jedno okrążenie. Wyniki analiz Niemców zostały potwierdzone przez badaczy z Chorwacji (Grgić i wsp. 2019) analizującą taktykę biegu najlepszych biegaczy w czasie Mistrzostw Świata w latach 1993–2009. Wg tych autorów jednym z kryteriów oceny strategii biegu na 400 m jest różnica między drugą i pierwszą częścią biegu ($t_{1|200m} - t_{2|200m}$). W przypadku finalistów mistrzostw świata wskaźnik ten wynosił od 0,16 do 3,07 s.

Interesującą formą analizy zmian wysiłkowych biegu na 400 m było porównanie trzech strategii – szybkiego, standardowego i wolnego rozpoczęcia pierwszej połowy biegu (Saraslanidis i wsp. 2011). Badania dowiodły, że najmniejszą wartość mleczanu i najmniejsze zmiany długości i częstotliwości kroków zaobserwowano w grupie rozpoczynającej bieg najwolniej. To ważna informacja dla układania strategii biegu na 400 m przez płotki.

Wyniki powyższych analiz nie uwzględniają dystansu 400 m przez płotki, w którym o strategii czasowej (=tempa biegu) decydują elementy dodatkowe – 10 płotków. Obszerną analizę strategii biegu na 400 m przeprowadzili Martin-Acero i wsp. (2017), akcentując indywidualne uwarunkowania.

400 m a 400 m przez płotki

Podobne (aczkolwiek nie te same) uwarunkowania energetyczne dystansów 400 m i 400 m przez płotki pozwalają na wspólne spojrzenie na strategię obydwu biegów.

Analizy strategii biegów na dystansie 400 m dokonywane są głównie w czasie najważniejszych imprez międzynarodowych, rzadziej w czasie lokalnych sesji badawczych. Podobnie jak w biegu na 400 m przez płotki, autorów analiz strategii biegu na 400 m interesują następujące problemy: zmiany prędkości biegu (w tym miejsce uzyskania prędkości maksymalnej), czas pokonania kolejnych części biegu (odcinki 100, 50 lub 25. metrowe), czy różnice czasu pierwszej i drugiej części biegu.

Pomijając dane historyczne warto wspomnieć o analizach strategii biegu na 400 m (płaskie) po roku 1990. W obszernej analizie biegów półfinałowych i finałowych w czasie Igrzysk w Seulu autorzy mierzyli czasy odcinków 100-metrowych i dostosowywali je do teoretycznego modelu (Brügemann i Glad 1990). Badania dowiodły, że największa prędkość biegu dotyczył pierwszej prostej (ok. 150 m), największy wpływ na końcowy wynik miały czasy dwóch ostatnich odcinków (200-300 m, 300-400 m) a czas odcinka wstępnego (0-100 m) w grupie najlepszych sprinterów wykazywał zależności ujemne z końcowym rezultatem. Podobne zmiany prędkości biegu w grupie 400-metrowców zróżnicowanego poziomu (n = 182) ustalił Schäffer (1990). Dodatkowo autor ten ustalił, że ok. 250 m następują zmiany prędkości biegu poniżej średniej.

Fizjologia wysiłku w biegach na jedno okrażenie

W pojęciu „biegu sprinterskiego na jedno okrażenie” mieszczą się dwa dystanse – bieg na 400 m („płaski”, bez płotków) oraz bieg na 400 m przez płotki (ppł). W analizach strategii biegu przez płotki często nawiązuje się do wzorców biegu płaskiego, co po części może być pomocne w ocenie strategii biegu „z przeszkodami” (płotki to także przeszkody).

Ocena zmian biochemicznych i fizjologicznych w czasie biegu na 400 m często obejmuje obydwa dystanse. Na obydwu dystansach decydującym systemem energetycznym są wysiłki o charakterze beztlenowym, z akcentem na mechanizmy kwasomlekowe (może raczej mleczanowe czy glikolityczne) – Graff i wsp. 1983, Charitomowa 1991, Ward-Smith 1997, Gupta i wsp. 1999, Zauchal i wsp. 2010, Gupta i wsp. 2021). Ward-Smith (1997) na podstawie analiz matematycznych dowiodła, że mechanizmy beztlenowe w biegu na 110 m ppł stanowią 91,2% zapotrzebowania energetycznego, natomiast na 400 m ppł 71,4%. W ten sposób autorka akcentuje także istotne znaczenie przygotowania tlenowego. Podobną dominacją procesów beztlenowych zaobserwowali inni badacze. Hill (1999) określa je w przedziale 56-70%, Lacour i wsp. (1996) 62,5%, Reis i Miguel (2007) 66-68%. Spencer

i Gastin (2001) są nieco bardziej sceptyczni, określając udział procesów tlenowych w biegu na 400 m na 43%.

Ciekawą grupą badań biegaczy na jedno okrążenie są porównania wysiłków startowych sprinterów (400 m) oraz płotkarzy (400 m ppł). Prace te dowodzą, że udział procesów beztlenowych w czasie biegu na 400 m jest większy w porównaniu z biegiem przez płotki (Charitomowa 1991, Gupta i wsp. 1999, Zouchal i wsp. 2010, Saraslanidis i wsp. 2011).

W badaniach Zouchala i wsp. (1999) udział przemian beztlenowych w wysiłku płotkarzy był 5,5% mniejszy niż w grupie 400-metrowców (57,0/62,5%). Dane wynikające z badań naukowych determinują spojrzenie na strategię biegu na 400 m przez płotki z punktu widzenia proporcji wykorzystania (1) zdolności beztlenowych niekwasomlekowych (fosfagenowych), (2) wydolności beztlenowej glikolitycznej oraz (3) przemian tlenowych.

Większość prac dowodzi także większego stężenia mleczanu (= LA, tzw. „zakwaszenie”) po wysiłku na 400 m w porównaniu z biegiem przez płotki. W indywidualnych przypadkach wartości LA przekraczają 25 mmol/l (np. Graff i wsp. – 27,08 mmol/l). Rovniy i Lastochkin (2015) określają powysiłkowe stężenie LA na 16,93/19,39 mmol/l.

Ciekawe wyniki analiz wysiłków płotkarzy dotyczą badań wysiłkowych polskich naukowców (Poprzącki i wsp. 1997, 1998, Poreba 2008).

Christine Hanon (wraz ze współpracownikami), analizując wysiłki w biegu na 400 m oceniła parametry biochemiczne, fizjologiczne i biomechaniczne, charakterystyczne dla zmęczenia wysiłkiem anaerobowym. Największe stężenie LA w biegu na 400 m ($22,0 \pm 1,9$ mmol/l) ma miejsce po 7 min., po zakończeniu biegu. Wartość ta w biegu na 300 m jest znacznie niższa ($16,8 \pm 1,5$ mmol/l) – Hanon i wsp. (2010).

Uwagi szkoleniowe

Wartości te świadczą o wyjątkowym znaczeniu biegu na ostatniej prostej na tym dystansie (pośrednio także na 400 m ppł). W badaniach uwzględniono także zmiany długości i częstotliwości kroków – na pierwszej i ostatniej prostej. Dane dowiodły, że obydwa parametry znacznie ($p \leq 0,01$) zmniejszają się (odpowiednio – 2,21/1,95 m oraz 3,71/3,52 Hz). To kolejna ważna informacja z punktu widzenia strategii biegu na 400 m przez płotki. W dalszych badaniach Hanon i wsp. (2009) dowiedli, że długość kroku biegowego na dystansie 400 m wzrasta do odcinka 100–150 m, natomiast częstotliwość wzrasta tylko na początkowym wirażu (50–100 m) – Hanon i Gajer (2010).

W analizie przeprowadzonej przez Martin-Acero i wsp. (2017) dowiedziono różnic indywidualnych w strategii tempa biegu na 400 m (kobiet). W opracowaniu indywidualnych strategii autorzy wykorzystują trzy testy – szybkościowy (30–60 m), skocznościowy (wieloskok na 100 m – liczba

skoków) oraz wytrzymałościowy (2 x 300 m, p = 2 min). Willis i Burkett (2012) zauważają, że najważniejszą częścią biegu na 400 m jest odcinek między 200–300 m (trzecia „setka”) – korelacje z końcowym wynikiem wynoszą 0,90 (kobiety) i 0,79 (mężczyźni). Badania różnego tempa biegu na 400 m w pierwszej jego części (98, 95, 93%) dowiodły negatywnych konsekwencji zbyt szybkiego rozpoczynania pierwszych 200 m (98% czasu RŻ na 200 m) w postaci obniżenia długości i częstotliwości kroków (Saraslandis i wsp. 2011). Analizy Grebieniuka i wsp. (2017–2018) dowodzą znaczących (nie do końca zdefiniowanych) relacji między przygotowaniem technicznym a motorycznym.

W odniesieniu do strategii biegu na 400 m przez płotki nie należy zapominać o analizach biomechanicznych, uwzględniających nie tylko problematykę techniki pokonywania płotków, ale także jej zmiany pod wpływem zmęczenia (Mann 1974–2018, Schwartz i wsp. 1990, Iskra 2012b, Iskra i wsp. 2000, 2001, Valamatos i wsp. 2003–2009, Iskra i Coh 2006, 2011, Iskra i Przednowek 2016, 2017, Arteaga 2013, Balsalobre-Fernandez i wsp. 2013).

Czynniki decydujące o strategii biegu na 400 m przez płotki

Poszukiwania najlepszego dla danego zawodnika, dostosowanego do warunków zewnętrznych „planu biegu” to nieodzowny warunek szkolenia plotkarzy na 400 m. W pracy te optymalne warunki określono jako strategię biegu, a jego ocenę oparto na danych skupionych wokół analizy statystycznej ponad 300 biegów rozegranych w okresie ponad 50 lat. W tabeli 1.1. podano wszystkie czynniki wpływające na ocenę indywidualnych strategii biegu na 400 m przez płotki.

Tabela 1.1

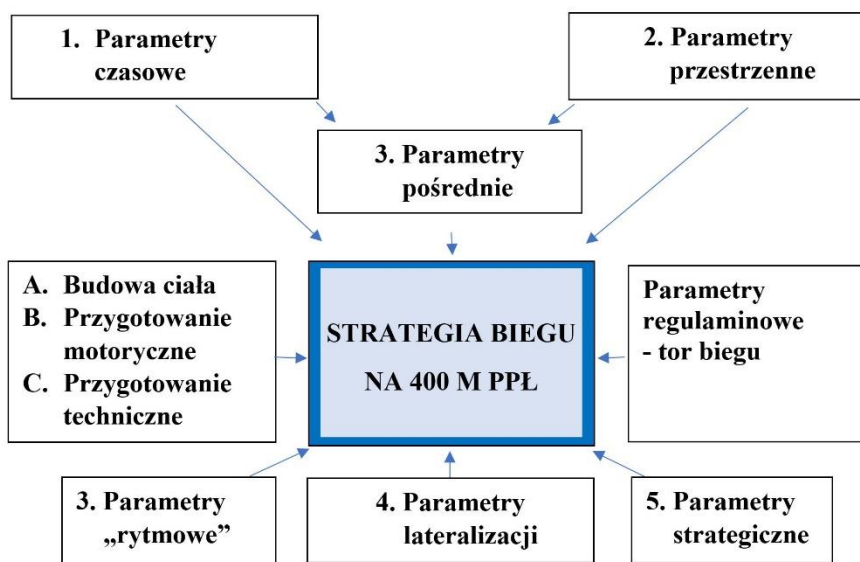
Czynniki wpływające na strategię biegu na 400 m przez płotki

Czynnik	Charakterystyka
Czynniki zewnętrzne	
1. Przepisy biegu	10 płotków rozstawionych na dystansie jednego okrążenia
2. Siła i kierunek wiatru	Od pogody bezwietrznej do silnych podmuchów wiatru w różnych częściach dystansu

Czynniki wewnętrzne	
<u>1. Budowa ciała</u> (czynniki morfologiczne)	Wysokość i masa ciała, także długość kończyny dolnej oraz wskaźniki budowy (BMI).
<u>2. Zdolności kondycyjne</u> (motoryczne)	Poziom wyników w biegach na 100–800 m
<u>3. Zdolności koordynacyjne</u> (techniczne)	Wyniki w biegu na 110 m przez płotki
4. Czynniki psychiczne	Odwaga, determinacja
5. Czynniki socjalne	Wiek, wiek mistrzostwa sportowego
Czynniki podstawowe	
<u>1. Czynniki czasowy</u>	Czasy (prędkości) poszczególnych części biegu.
<u>2. Czynniki przestrzenne</u>	Liczba kroków (tzw. „rytm plotkarski”)
<u>3. Czynniki lateralizacji</u>	Możliwości pokonywania płotków prawa i lewą nogą atakującą

Podkreślono zmienne uwzględnione w pracy

Rycina 1.1. uwzględnia wszystkie czynniki uwzględnione w analizie empirycznej uwzględnionej w tej pracy



Ryc. 1.1. Czynniki wpływające na strategię biegu na 400 m przez płotki

Piśmiennictwo*

- Aragon i wsp. 2016.
Arteaga 2013.
Ballsalobre-Fernandez i wsp. 2013.
Brüggemann i Müller 1999.
Brüggemann i Glad 1990.
Casado A., Hanley B., Jimenez-Reyes, Renfree A. 2020. Pacing profiles and tactical behaviors of elite runners. *Journal of Sport and Health Science* 00,1-14. Dostęp: www.sciencedirect.com; <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.06.011>.
Charitomowa 1991.
Erdmann i wsp. 2006.
Ferro A., Rivera A., Pagola I., Ferreruuela M., Martin A., Rocandio V., 2001. Biomechanical analysis of the 7th World Championships in Athletics Seville 1999. *New Studies in Athletics* 16, 25–60.
Ferro i wsp. 2001.
Foster i wsp. 1994.
Gonzalez-Mohino i wsp. 2020.
Grebieniuk 2017, 018.
Grgić D., Babic V., Blazević I. 2019. Running dynamics in male 400 m sprint event. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov* (12) 2, 41–48.
Gupta i wsp. 1999, 2021.
Hanley 2015.
Hanley i Hettinga 2021.
Hommel H. (red.) 2009.
Hannon C., Thomas C. 2011.
Hanon Ch., Gajer B. 2009. Velocity and stride parameters of world-class 400-meter athletes compared with less experienced runners. *Journal of Strength and Conditioning Research* 23 (2), 524–531.
Hanon Ch., Lapretre P.-M., Bishop D., Thomas C. 2010. Oxygen uptake and blood metabolic responses to a 400-m run. *European Journal of Applied Physiology* 109, 233–240. DOI 10.1007/s00421-009-1339-4.
Hill D.W. 1999. Energy systems contributions in middle-distance running events. *Journals of Sports Sciences* 17, 477–483.
Iskra 2012b.
Iskra i Bacik 2000, 2001.
Iskra i Coh 2006, 2011.
Iskra i Przednowek 2016, 2017.
Keller J.B. 1974. Optimal velocity in a race. *American Mathematical Monthly* 474–480.
Lacour i wsp. 1996
Letzelter S., Eggers R. 2003. Geschwindigkeitsverlauf über 400 m in der Weltklasse. *Leistungssport* (33) 6, 40–45.
Lima-Silva i wsp. 2010.
Lipińska 2015.

Mann 1974–2018.
Martin-Acero i wsp. 2017.
Pollitt L., Walker J., Tucker C., Bissas A. 2020. Biomechanical Report for the IAAF World Championships London 2017. 400 m Men's and Women's. Dostęp (15.01.2020): <https://www.Worldathletics.org/about-iaaf/documents/research-centre>.
Reis M., Miguel P. 2007. Changes in the accumulated oxygen deficit and energy cost of running 400 metres. *New Studies in Athletics* (22), 2, 49–56.
Reis V.M., Duarte J.A., Espírito-Santo J., Russell A.P. 2004. Determination of accumulated oxygen deficit during a 400m run. *Journal of Exercise Physiology (online)* (7), 2, 83.
Renfree i wsp. 2014.
Rovniy A.S., Lastochkin V.M. 2015. Mechanisms of adaptation to intensive loads of 400 metres' hurdles runners at stage of initial basic training. <http://dx.doi.org/10.15561/20755279.2015.0306>
Rovniy i wsp. 2017.
Saraslandis i wsp. 2011.
Schäfer W. 1990. Zu leistungsstrukturellen Elementen der 400-m-Wettkampfleistung und ihrer komplexen trainingsmethodischen Realisierung. *Der Leichtathlet* 31.
Schwartz i wsp. 1990.
Spencer i Gatin 2001.
Tucker i wsp. 2006.
Valamatos i wsp. 2003–2009.
Ward-Smith 1997.
Willis R., Burkett B. 2012. 400 Metre Race Pace Strategies: How your 200 metre personal best influences your performance options. *Journal Fitness Research* 1, 40–49.
Zauchal i wsp. 2010.

*Pełna identyfikacja źródeł dotyczy pozycji nie związanych bezpośrednio zbiegiem na 400 m ppł; dokładną identyfikację pozostałych publikacji przedstawiono na końcu pracy.

1.2. Bieg na 400 m przez płotki –charakterystyka konkurencji z uwzględnieniem strategii biegu

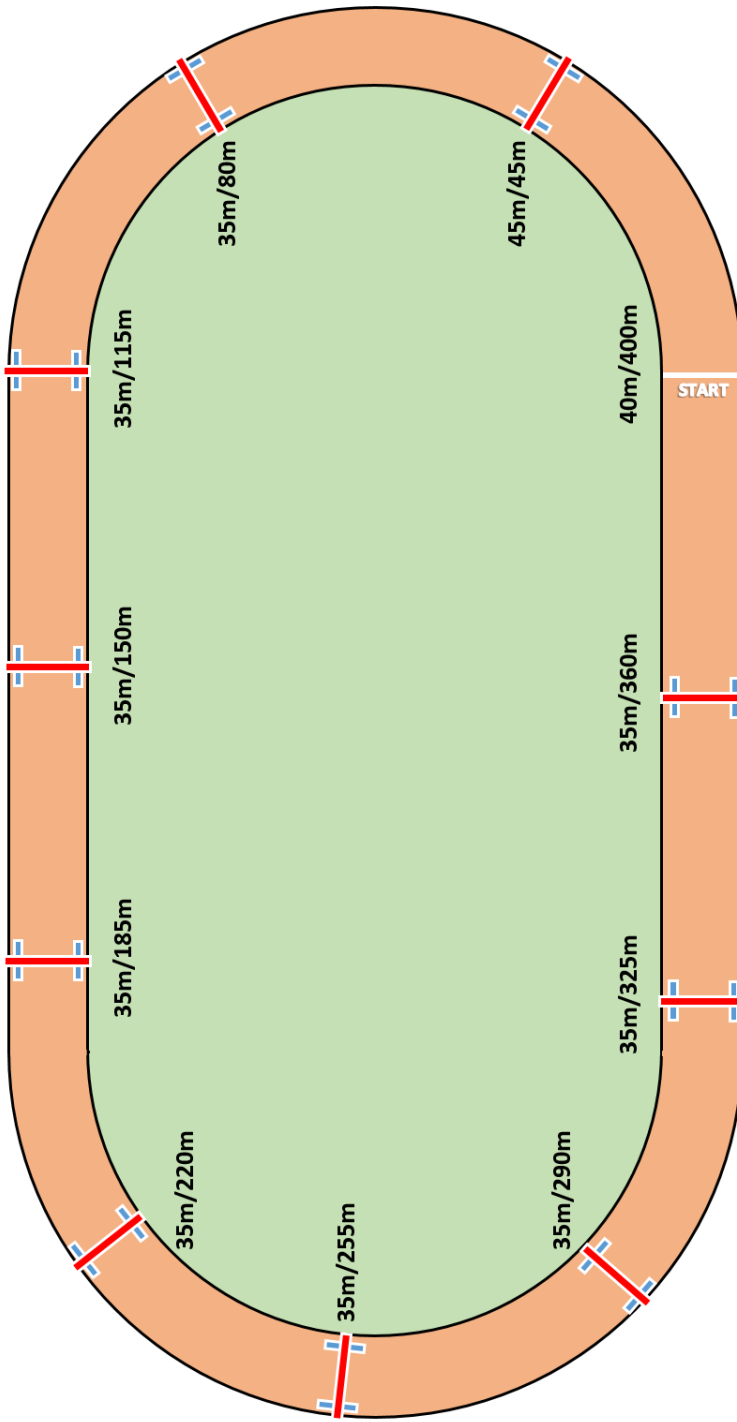
Bieg na 400 m przez płotki to jedna z najtrudniejszych konkurencji lekkoatletycznych (szczegóły – Iskra 2012, 2014). Przepisy biegu stawiają przed najlepszymi płotkarzami wyjątkowe zdolności motoryczne (szybkość + siła + wytrzymałość) i umiejętności techniczne, wymagające specyficznych zdolności koordynacyjnych (zdolności rytmizacji), z handicapem budowy ciała i odporności psychicznej.

W tabeli 1.2.1 przedstawiono specyfikę dystansu o charakterze sprintu przedłużonego z 10-m1 przeszkodami.

Tabela 1.2.1

Charakterystyka dystansu 400 m przez płotki

1. Przepisy biegu 1a. Ustawienie płotków	– bieg na 400 m z 10. płotkami (wysokość 91 cm) ustawionymi co 35 m; odległość do pierwszego płotka (dobieg – 45 m, wybieg = odległość od ostatniego płotka do mety – 40 m,
1b. Ukształtowanie bieżni	– dystans składa się z dwóch części biegu po wirażu (first and second curve) oraz dwóch części biegu po prostej (first and second curve),
2. Zmiany prędkości biegu (= uwarunkowania fizjologii wysiłku)	– w biegu na 400 m ppł prędkość pokonywania dystansu spada już po 2.-3. płotku,
3. Zmiany rytmu biegu (uwarunkowania przygotowania technicznego)	– zmiany liczby kroków wykonywanych między płotkami (1) oraz zmiany nogi atakującej (2) uwarunkowane są m.in. możliwościami technicznymi.



Rycina 1.2.1. Ustawienie płotków na dystansie 400 m przez płotki (pierwszy tor)

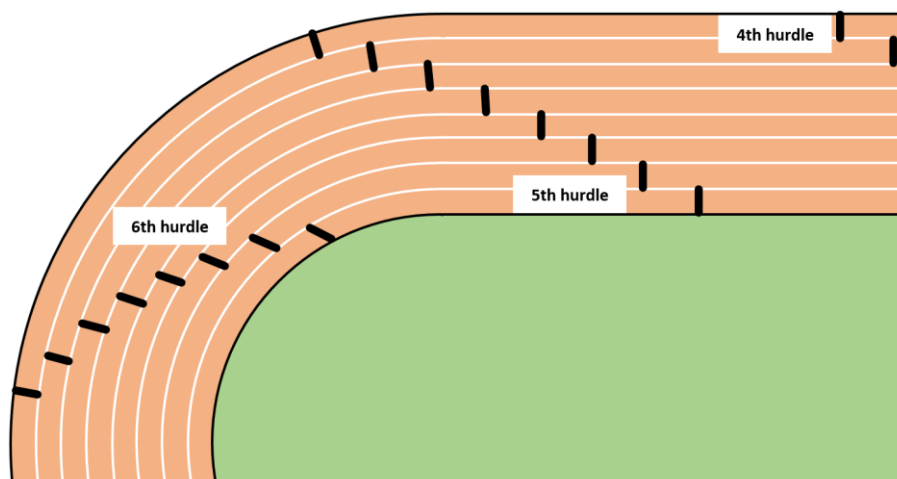
Analiza dystansu 400 m z płotkami (400 mH) w znacznej mierze różnicuje dystans płaski (400 m). Ustawienie 10 płotków powoduje znaczne różnice między konkurencjami. Podstawowe dotyczą drugiego wirażu, na którym, na zewnętrznych torach (7-9) ustawiono płotki z pierwszej części dystansu – tabela 1.2.2 i ryc. 1.2.2.

Tabela 1.2.2.

Usytuowanie płotków w biegu na 400 m przez płotki (wg „IAAF 400 metre standard track”)

Tor	Kolejne płotki										Finisz
	1 45 m	2 80 m	3 115 m	4 150 m	5 185 m	6 220 m	7 255 m	8 290 m	9 325 m	10 360 m	
I	W1	W1	P1	P1	P1	W2	W2	W2	P2	P2	
II	W1	W1	P1	P1	P1	W2	W2	W2	P2	P2	
III	W1	W1	P1	P1	P1	W2	W2	W2	P2	P2	
IV	W1	W1	P1	P1	P1	W2	W2	W2	P2	P2	
V	W1	W1	P1	P1	P1	W2	W2	W2	P2	P2	
VI	W1	W1	P1	P1	P1	W2	W2	W2	P2	P2	
VII	W1	W1	P1	P1	W2	W2	W2	W2	P2	P2	
VIII	W1	W1	P1	P1	W2	W2	W2	W2	P2	P2	
(IX)	W1	W1	P1	P1	W2	W2	W2	W2	P2	P2	

W1 – pierwszy wiraż, P1 – pierwsza prosta, W2 – drugi wiraż, P2 – druga prosta



Rycina 1.2.2. Ustawienie płotków na przełomie pierwszej prostej i drugiego wirażu (tory 1-8)

1.3. Historia biegu na 400 m przez płotki mężczyźni z akcentem na strategię biegu

Wprowadzenie

Wysiłki badaczy w poszukiwaniu pierwszych form biegu „na jedno okrążenie” przez płotki (także – „biegu wytrzymałościowego przez płotki”) aktualnie kończą się, według różnych źródeł, jeszcze w pierwszej połowie XIX w. Ari Törmä rozpoczął notowanie wyników od 29 kwietnia 1841 r., kiedy Brytyjczyk Archibald Dumbrick w Comiston w pojedynku zawodowców w biegu na 500 m przez 25 płotków o wysokości 4 stóp (= 122 cm) uzyskał 3:10,0 min, co w przeliczeniu na 400 m dawało wynik 2:31,7 min (Törmä 2020). Törmä skrupulatnie notował wyniki płotkarzy uzyskane w różnorodnych warunkach co do długości dystansu, wysokości i liczby płotków, rywalizacji amatorów i pojedynków profesjonalistów, biegów ze startu wspólnego i z handicapem. Stosując wzór na estymację wyników autor próbował usystematyzować wyniki. Niestety brak jest możliwości oceny strategii biegu płotkarzy sprzed 170. lat – nie sposób uzyskać danych co do odległości między płotkami.

Peter Lovesey (Lovesey 1980, Lovesey i Morbey 2016) jako inaugurację dystansu ustala wydarzenie na Beehive Ground, Walworth (południowo-wschodni Londyn), gdzie 9 lipca 1844 r. John Smith (zwyycięzył na dystansie 440 jardów przez 12 płotków o wysokości 4 stóp. Autorzy podkreślają znaczenie w rozwoju dystansu dwóch biegaczy – sprintera George Sewarda oraz średniodystansowca i chodźiarza Charlesa Westhalla. Różnorodność typów XIX-wiecznych płotkarzy świadczy o braku standardów szkolenia i dużą przypadkowość w przyjętych strategiach.

Przykład Sewarda potwierdza chaos i brak regulaminowych rozwiązań biegów przez płotki w połowie XIX wieku. „American Wonder” (pseudonim Sewarda) był sprinterem, ale często startował w biegach przez płotki. Biograf lekkoatlety Edward S. Sears przedstawił kilkadziesiąt wariantów dystansów płotkarskich na których rywalizował Seward – od dystansu 200 do 1600 jardów, od 4. do 50. płotków (Sears 2008). Amerykanin był płotkarzem wszechstronnym, dostosowując talent sprinterski do różnych wariantów biegu przez płotki.

Poszukując pierwotnych form biegu na 400 m przez płotki Hubert Hamacher potwierdza wcześniejsze spostrzeżenia odnośnie regulaminowego chaosu, notując w latach 1881–1887 biegi na dystansach od $\frac{1}{6}$ (268,2 m) do $\frac{3}{4}$ (1207 m), o wysokości płotka od 50 do 106,7 m (Hamacher 2007). Dodatkowe „atrakcje” nowej konkurencji to rywalizacja z końmi a także wykorzystanie rowu z wodą jako dodatkowego „płotka”.

Reasumując pierwsze próby dystansu na jedno okrążenie przez płotki można określić trzy podstawowe typy płotkarzy, zapewne rywalizujących z odmiennymi strategiami biegu:

1. Płotkarze specjalizujący się w biegach terenowych (przełajowych), z rywalizacją w biegach przeszkodowych łącznie. W dalszym rozwoju dystansu często pojawiali się płotkarze wcześniej specjalizujący się na dystansach 800–1500 m (np. pierwszy mistrz olimpijski Charles Bacon czy Polak Patryk Dobek).
2. Płotkarze-sprinterzy, osiągający sukcesy na dystansach 120–220 jardów. Późniejsze typy to m.in. David Hemery czy Stephane Caristan.
3. Zawodnicy uczestniczący w biegach wytrzymałościowych przez płotki, w różnych wariantach – to współczesny typ specjalisty na 400 m przez płotki.

Richard Hymans uważa, że początek dystansu 440 jardów przez płotki dotyczą zawodów w Exeter College w Oksfordzie rozegranych 27 listopada 1854 r., a pierwszy rezultat na tym dystansie należy do Bennetta (seniora), który 7 marca 1857 r. w Oksfordzie pokonał Bennetta (juniora) i uzyskał w biegu z 12 płotkami 63,0 s (62,7 s) – Hymans 2020.

Kolejne 50 lat funkcjonowania dystansu 400 m przez płotki to kolejne rekordowe wyniki uzyskane w zróżnicowanych, nieregulaminowych (według obecnych norm) warunkach. Dystans został praktycznie zaakceptowany (440 jardów), jednakże liczba płotków (6–12) a także ich wysokość (2,6–3,6 stopy) w dalszym ciągu nie pozwalały identyfikować poziom wyników. Dodatkowe utrudnienia dotyczyły pojedynków amatorów i zawodowców a także biegów z handicapem (Iskra i Wałaszczuk 2013).

Ustawianie zawodników w różnych odległościach z całą pewnością wpływało na opracowanie indywidualnych strategii biegu.

Poza analizami historycznymi i poglądami szkoleniowców ważne informacje dotyczą badań naukowych. Jedną z pionierskich prac z zakresu strategii biegu na 400 m przez płotki jest publikacja Breitschaft (1965), analizująca wszystkie biegi rozgrywane w czasie Igrzysk Olimpijskich w Tokio w 1964 r.

Wykorzystanie analiz statystycznych w ocenie zmian historycznych zastosował Donzelli (1993).

Brejzer i Wróblewski (1982), uwzględniają 4 grupy problemów – analizę startową (1), przygotowanie techniczne (2), przygotowanie motoryczne (3) oraz problematykę treningu (4). Pierwszy z ww. elementów jest ściśle związany z tematem tej książki, pozostałe mają pośredni wpływ na strategię biegu (m.in. tzw. „współczynnik rytmowy”. W pracy Brejzera i Wróblewskiego cytowane są liczne publikacje badaczy radzieckich - kompilacyjnych i uczelnianych (m.in. Wasiliew 1967, Majszutowicz 1974, Bułańczyk 1975 i Dołgij 1976).

Analiza strategii biegu na 400 m przez płotki jest częścią innych problemów badawczych związanych z tą konkurencją lekkoatletyczną. Do nauk związanych z problematyką planu (taktyki, strategii) należą z pewnością

fizjologia z biochemią (1), antropologia (2), kinezyjologia (3) i biomechanika (4).

Badana biomechaniczne (różnego charakteru) są często inspirujące w ocenie startegii biegu.

Problem zachowania właściwego „rytmu” kroków a także straty prędkości są ściśle związane nie tylko ze zmianami spowodowanymi reakcjami fizjologicznymi i parametrami biochemicznymi, ale także zmianami parametrów biomechanicznych, decydujących w konsekwencji o technice pokonywania płotków (Mann 2015, Geller i wsp. 2009). Wg Manna (2008) w grupie zawodników wysokiego poziomu sportowego prędkość biegu na całym dystansie zmniejsza się o 17% w grupie mężczyzn (z 9,14 na 7,93 m/s) oraz o 11% w grupie kobiet (z 8,22 do 6,89 m/s). Średni czas pokonania płotków w grupie mężczyzn (0,31 przed wysiłkiem i 0,33 s po wysiłku) i w grupie kobiet (0,32/0,33 s) jest podobny. Długość kroku różnicuje obydwie grupy – 3,03/2,27 przed wysiłkiem i 2,75/2,08 m po wysiłku).

W pracy Susanki (1990) wyróżniono 3 aspekty badań biomechanicznych w biegach przez płotki:

- A. Analizę czasową (czas reakcji, międzyczasy)
- B. Analizę kinematyczną (oceniane po 2., 4. i 7. płotku)
- C. Analizę dynamograficzną (jw.)

Zaporożanow (1999) strategię biegów sprinterskich przedstawia jako „charakterystykę taktyczno-techniczną”, uwzględniając m.in. częstotliwość kroków.

Procedury badawcze i obserwacje trenerów w okresie po 2000 r. analizowane są w dalszej części pracy.

Szczegółowa, historyczna analiza strategii biegu na 400 m przez płotki mężczyzn została przedstawiono w tabeli 1.3.

Tabela 1.3.

Rozwój biegu na 400 m przez płotki mężczyzn – wybór historycznych faktów

Lata 40. i 50. XIX wieku	
1841. 04.29 Comiston	Pierwszy, notowany przez historyków wynik w biegu na „okrażenie przez płotki” miał miejsce w Wielkiej Brytanii. W biegu na 500 m z 25(!) plotkami o wysokości 4. cali (= 101, cm) Archibald Dubrick uzyskał 3:10,0 min. W przeliczeniu Ari Törmy (wg matematycznych, sprawdzonych przez statystyków lekkoatletycznych metod), wynik na 400 m ppł wynosił 2:31,7 min.
1844.03.12, Harlesdengren	W Harlesdengren zorganizowano bieg na 360 y przez 15 płotków. W biegu uczestniczył najlepszy wówczas sprinter świata George Seward. To raczej „parkours” niż „hurdles”

1849.08.06, Sheffield	Na Barrack Tavern Cricket Ground w Sheffield George Seward na dystansie 440 y przez 20 płotków o wysokości 106,7 cm trzykrotnie rywalizował z Mr J. Harwood'em na klaczy Black Bessi. W wyścigach biegacza z koniem tryumfował Seward, za każdym razem wygrywając 25 funtów. Wyścig przez przeszkody przypominał raczej „steeple chase” (=angielski bieg przełajowy) niż bieg przez płotki. Dystans był bardzo zróżnicowany – 300–1000 m.
Lata 60. XIX wieku	
1860, Oxford	Na zawodach <i>Oxford University Sports</i> zorganizowano bieg na 400 m ppł z 2. plotkami. Odległości nie są znane. Strategia tego biegu nie różniła się zapewne od taktyki biegu na 400 m bez płotków.
Do 1866	Do czasów standaryzacji przepisów biegu na jedno okrążenie przez płotki do rywalizacji płotkarzy używano ciężkich płotów, służących do ogradzania pastwisk dla owiec. Technika pokonywania płotków i rytm biegu były pośrednio wynikiem konieczności uniknięcia bolesnego zaczepienia o płot. Preferowano „skok” a nie bieg przez przeszkody.
Lata 70. XIX wieku	
Lata 60.–80. XIX w.	W okresie poprzedzającym ustalenie standardów biegu na 400 m przez płotki funkcjonowały różne wersje konkurencji. Długość dystansu wynosiła 380, 400, 425, 440, 500, 600, 880 czy nawet 1000 jardów, liczba płotków wahała się od 8 do 20, a ich wysokość od 76 do 107 cm. Dla przykładu – w Nowej Zelandii obowiązywała wysokość płotków 3 stopy i 6 cali (=1,066 cm) a w Holandii 60 cm. Strategię biegu determinowały jego zróżnicowane warunki. Standardowe warunki ustalono w 1884 r.
Lata 80. XIX wieku	
1880–1890	W latach 1880-1890 technika pokonywania płotków była dość zachowawcza. Różnica między rekordowym wynikiem na 400 m ppł oraz 400 m (bez płotków) wynosiła ok. 12 s. W 1882 r. czołowy biegacz świata na obydwu dystansach A.H. Barlow (odpowiednio 2. i 5. miejsce w tabelach) miał indeks techniki (TI) na poziomie 11,4 s (61,7–50,3 s).

Lata 90. XIX wieku	
5.12.1893, Paryż	<p>W czasie pierwszych w Europie mistrzostw kraju (Francji) w biegu na 400 m przez płotki ustalono standardy rozstawienia płotków (45 + 9 x 35 + 40 m), a wysokość płotka określono jako 90 cm.</p> <p>Od tego momentu można dokonywać i porównywać analizy strategii biegu na klasycznym dystansie 400 m przez płotki.</p>
1894	<p>W kolejnym wydaniu klasycznego podręcznika „<i>Athletics and Football</i>” Montague Shermana po raz opisano dystans pierwszy w Wielkiej Brytanii. Autor pisał: „Okazjonalnie, na prowincji organizuje się biegi przez płotki na dystansach 300 jardów – ¼ mili”...” to kombinacja biegu sprinterskiego i skoków”... Sherman nie potrafił scharakteryzować płotkarza na nowym dystansie, kończąc krótką analizę zdaniem „Może nowa moda w przyszości „powoła do życia” nazwę zawodnika biegającego biegi przeszkodowe na krótkim dystansie. Brytyjskie pojnowanie nowego dystansu klasyfikowało go raczej jako bieg z przeszkodami niż przedłużony sprint.</p>
Lata 1900–1909	
1900.07.(14)–15, Paryż	<p>Pierwsza rywalizacja olimpijska w biegu na 400 m przez płotki. Na 500. metrowej bieżni w Bois de Boulogne, w niedzielne popołudnie, trzech zawodników (sprinter – Amerykanin Tewksbury płotkarz – Francuz Tauzin i długodystansowiec – Kanadyjczyk Orton) zdobyło pierwsze medale w biegu przez 10 przeszkód – 9 telegraficznych słupów o długości ok. 8 m oraz ostatniego rowu z wodą o głębokości 50 cm. Odległości między płotkami były zróżnicowane. Pierwszy Walter Tewksbury zdobył swój czwarty złoty – 200 m, srebrne na 60 i 100 m olimpijski medal. George Orton z Kanady był długodystansowcem i przeszkodowcem, który przypadkowo wystartował na 400 m ppł. Orton jako dziecko był częściowo sparaliżowany, po upadku z drzewa. Kiedy w wieku 12 lat odzyskał sprawność motoryczną, ciągle biegał, dlatego uzyskał przydomek „Chłopiec, który nigdy nie chodzi”. Zarówno w eliminacjach, jak i w finale był ostatni, a mimo tego zdobył brązowy medal. Mistrz olimpijski na 2500 m z przeszkodami miał tylko 169 cm wzrostu.</p> <p>John Walter Beardsley Tewksbury to absolwent słynnego University of Pennsylvania, gdzie w 1899 r. skończył stomatologię (praktykował jako dentysta po zakończeniu kariery sportowej). W 1900 r. w Paryżu zdobył 5</p>

	<p>medali: złoto na 400 m ppł i 200 m, srebro na 60 i 100 m (w pf wyrównał rekord świata: 10,8 s) i brąz na 200 m ppł. Tewksbury to typ sprinterski w grupie płotkarzy na 400 m. Swoje sukcesy tłumaczył budową ciała (186 cm i długie nogi).</p>
1900	<p>Na Igrzyskach Olimpijskich w Paryżu w 1900 r., po za klasycznym biegiem na 400 m ppł rozegrano bieg na tym dystansie z handicapem zwyciężył reprezentant Indii Norman Pritchard (studiujący w Anglii, reprezentant London AC), mistrz olimpijski Walter Tewksbury zajął 2 miejsce, a Henry Touzin z Francji był piąty.</p> <p>Biegi z handicapem całkowicie zmieniały strategię dobiegu do pierwszego płotka.</p> <p>Pritchard to charyzmatyczna postać przełomu wieków, lekkoatleta, sekretarz Związku Lekkoatletycznego Indii i aktor – uczestniczył w 27 Filmach wytwórni MGM (jako Norman Trevor), grał wiele sztuk na Broadway'u. Jego narodowość (Indie czy Wielka Brytania) to ciągły spór historyków lekkoatletyki.</p>
1901	<p>W kolejnym wydaniu „Athletics and Football” Mantague Sherman określa po raz pierwszy anglosaskie przepisy biegu na 440 jardów przez płotki. Szczegóły: 50 jardów (= 45,50 m) dobieg do pierwszego płotka, odległości między płotkami 9 x 40 jardów (= 36,40 m) Oraz 30 jardów finiszu (= 27,3 m). Pozorna standaryzacja rozpoczęła trudności w interpretacji wyników (a także strategii biegu) biegów „anglosaskich” (=440 jardów) i europejskich (= 400 m)</p>
1904.08.31, St. Louis	<p>Tylko 4. Amerykanów walczyło w nieregularnych warunkach (płotki o wysokości 76 cm/30 cali). Harry Hillman uzyskał wynik o ponad 3 s (!) lepszy od najlepszego wyniku na świecie (53,0/56,4 s). Przewrócił jednak ostatni płotek. Hillman był typowym biegaczem na 400 m – w Saint Louis zdobył na tym dystansie złoty medal. George Poage (3 miejsce) został pierwszym, czarnoskórym sportowcem – medalistą olimpijskim. Pomimo, iż dwukrotnie (w eliminacjach i w finale) zajął ostatnie miejsca, Poage zdobył brązowy medal. Bieg przez niskie płotki a także brak możliwości przewrócenia przeszkody (o specyficznej konstrukcji) determinowały w istotny sposób strategię biegu</p>

1908.07.20–22, Londyn	<p>Charles Bacon został pierwszym rekordzistą świata w biegu na 400 m ppł. Eliminacje to pojedynki „bokserskie” (12 biegów po 2 biegaczy). Pojedynki 1:1 determinowały przyjętą strategię biegu. W finale amerykańsko-brytyjskim podwójne zwycięstwo przypadło biegaczom z USA. Po raz pierwszy płotkarze rywalizowali na dystansie 400 m przez płotki o wysokości 91,5 cm (3 stopy), z dobiegiem (= odległość od startu do mety) 45 m i odległościami między płotkami 35 m.</p> <p>Na White City Stadium Hillman po raz drugi został medalistą olimpijskim w biegu na 400 m ppł (tylko o 0,3 za Baconem) – to pierwszy płotkarz na 400 m o długiej karierze sportowej. Bacon był typem „wytrzymałościowym” – na Igrzyskach w 1904 r. startował na dystansie 1500 m.</p> <p>Biegi organizowano na bieżni o długości 500 m, co z całą pewnością ułatwiało bieg po wirażu.</p>
Lata 1910–1919	
1912	Dystans 400 m przez płotki nie został uwzględniony w programie Igrzysk Olimpijskich w Sztokholmie.
Lata 1920–1929	
1920.08.15–15 (N-PN)	<p>Efekt dwudniowej rywalizacji olimpijskiej to trzy zwycięstwa Loomisa i rekord świata poprawiony o 1 s (55,0/54,0 s). Drugi raz w historii Igrzysk trzech Amerykanów stanęło na podium. Płotkarze dowiedli, że budowa ciała ma względny wpływ na końcowe wyniki – Loomis miał 188 cm, a trzeci na mecie Desch – 170 cm. Czwarty na mecie Francuz Andre (także medalista olimpijski w skoku wzwyż) pierwszą połowę dystansu przebiegł bardzo szybko, potem znacznie zwolnił, a do brązowego medalu zabrakło mu 0,1 s. Różnica czasu między dystansem 400 m ppł oraz 400 m (TI) najlepszych płotkarzy tego okresu wynosiła aż ok. 7 s.</p>
1924.07.6–7	<p>Emocjonujący finał olimpijski w biegu na 400 m przez płotki. Amerykanin Frank Morgan Taylor wygrywa zdecydowanie, ale przewrócił płotek i rekordzistą olimpijskim został trzeci na mecie (o ponad 10 m z tyłu) Fin Evic Wilen. Drugi na mecie Charles Brookins z USA został zdyskwalifikowany za bieg po za torem.</p> <p>Przepisy biegu (budowa płotka, bieg po torach) decydują o medalach i rekordach.</p> <p>Frank Morgan Taylor był plotkarzem „długowiecznym” (kolejne medale olimpijskie w 1928 i 1932 r.) i znakomicie skakał w dal (767 cm) i biegał na 400 m.</p>

	<p>Wskaźnik poziomu techniki (52,0–48,2 s) był, jak na owe czasy, bardzo niski – 3,8 s. Taylor był płotkarzem „lewonożnym” – w czasie Igrzysk jego „szablon kroków” – to 22 +7 x 15/2 x 17.</p>
1928.07.28–30	<p>David Burghley (od 1956 r. Lord Burghley Marquess of Exeter) po półfinałowej porażce z Amerykanami (Taylor i Cuhel) zrewanżował się później w finale, zostając pierwszym mistrzem olimpijskim w biegu na 400 m ppł spoza Stanów Zjednoczonych.</p> <p>Lord Burghley to charyzmatyczna postać światowej lekkiej atletyki. W 1927 r. w czasie ostatniego roku w Cambridge wstąpił się biegiem dookoła Great Court w Trinity College, kiedy okrążył plac między pierwszym a dwunastym biciem zegara. W czasie podróży „Queen Mary” pokonał okrążenie górnego pokładu poniżej 1 minuty i 57 sekund.</p> <p>Burghley specjalizował się początkowo na dystansie 110 m ppł (rekord życiowy – 14,5 s). Indeks techniki niski, podobny do dzisiejszych płotkarzy – 52,0 – 49,7 = 2,3 s</p>
Lata 1930–1939	
1932	<p>W olimpijskim finale biegu na 400 m ppł w Los Angeles, wygrał Irlandczyk Robert M. Tisdall (51,7 s), ale nie mógł zostać pierwszym rekordzistą świata z czasem poniżej 52 s, bo przewrócił ostatni płotek. Rekord wyrównał drugi na mecie Glenn Hardin (52,0 s), który minimalnie wyprzedził Franka Morgana Taylora. W tym historycznym biegu notowano czasy według trzech wariantów: (1) oficjalny wówczas, zaokrąglony do 0,2 s (odpowiednio 51,8–52,0–52,0 s), (2) rzeczywisty (51,7–51,9–52,0 s) oraz (3), pomiar elektroniczny, po raz pierwszy na tym dystansie - (51,67–51,85–51,96 s). Legendarne postacie tego dystansu, Morgan Taylor i Lord Burghley stoczyli wyrównaną walkę o brązowy medal (odpowiednio 51,96 i 52,01 s). Tym samym, F.M. Taylor zdobył trzeci medal olimpijski na dystansie 400 m ppł.</p> <p>Hardin, pomimo znakomitych warunków fizycznych (188 cm/75kg) cały dystans pokonał w rytmie 15. kroków, Lord Burghley biegał także „na jedną nogę atakującą” pokonując dystans na 15–17 kroków.</p>
1934.06.30 oraz 1934.07.26	<p>W 1934 r. <i>Glenn F. Hardin</i> złamał dwie płotkarskie granice. Najpierw (30. czerwca) w Milwaukee (AAU Championship) uzyskał 51,8 s, oficjalnie pokonując granicę 52 s, miesiąc później (26. lipca) na 385 metrowej bieżni w Sztokholmie poprawił rekord świata o 1,2 s (!),</p>

	uzyskując, jako pierwszy na świecie, wynik poniżej 51 s (50,6 s). Dwa dni wcześniej, na tej samej bieżni Hardin przebiegł 400 m w 47,8 s; tak więc jego wskaźnik techniki/rytmu wyniósł tylko 2,8 s. Wyścig w Sztokholmie był biegiem jednego zawodnika – następnego płotkarza Hardin wyprzedził o 4,8 s!.
1934	<i>Robert M. Tisdall</i> oraz F. Sherie opracowali (w książce „The young athlete”) rozdział „ The art of hurdling ” – część obejmująca biegi przez płotki. W „sztuce biegu przez płotki” autorzy zawarli wiadomości dotyczące dystansu 400 m ppł, konkurencji, w której Tisdall był mistrzem olimpijskim.
1936.08.03-04	Zdecydowany faworyt konkurencji, Amerykanin Glenn Hardin zwyciężył w słabym czasie 52,8 s. Najlepszy zawodnik półfinałów (Joe Patterson, 52,8 s) przegrał pojedynkę o brązowy medal z reprezentantem Filipin Miguel White'm (52,8/53,0 s). Być może było to efektem biegu Amerykanina na 1. torze. W tym czasie zawodników nie rozstawiano, z uwzględnieniem wyników w biegach półfinałowych.
Lata 1940–1949	
1948.06.30-31	W pierwszych powojennych Igrzyskach Olimpijskich w Londynie medale na dystansie 400 m ppł zdobyli (złoty) Roy Cochran z USA (51,1 s) i brązowy Rune Larsson z neutralnej w czasie II wojny światowej Szwecji. Sensacyjnym srebrnym medalistą został Duncan White z Cejlonu. Rzecz emblematiczna. W sezonie 1948 29-letni Cochran uzyskał na 400 m 47,8 s (z przeliczenia 440 y); wskaźnik techniki 3,3 s.
Lata 1950–1959	
1952.07.20 oraz 1952.08.09	Pierwszy, nieoficjalny jeszcze, wynik poniżej 51 s w biegu na 400 m ppł według automatycznego pomiaru czasu uzyskał w pierwszym biegu półfinałowym na Igrzyskach Olimpijskich w Helsinkach (20.07.1952 r.) <i>Charles H. Moore</i> z USA (50,98 s). Moore po Igrzyskach pobił także rekord świata na 440 y (51,6 s w Londynie 09.08.1952 r.). Różnica czasu między dwoma dystansami (440 y/400 m; 0,3 s) a także między pomiarem ręcznym i elektronicznym (0,24 s). często utrudnia analiz wyników w biegu na 400 m ppł. Moore był pierwszym płotkarzem, który pierwszą część dystansu (do 5. płotka) pokonywał w rytmie 13-krokowym.

	Charles Moore był także znakomitym biegaczem na 400 m (46,7y); index techniki – 50,7–46,7 = 4 s.
1952.07.20–21, Helsinki	Dwudniowe, czterobiegowe zmagania na dystansie 400 m ppł w czasie Igrzysk w Helsinkach w 1952 r. zakończyły się zwycięstwem Charlesa Moore’a. Amerykanin zwyciężył, ale otrzymał ocenę negatywną za taktykę 2-dniowych zmagania . W eliminacjach zwyciężył o 1,9 s, w ćwierćfinale o 1,6 s, w półfinale o 0,9 s, a w finale nie potrafił pobić rekordu z ćwierćfinału (51,06 v 50,98 s). Moore nie zdołał także utrzymać prowadzenia sztafety 4 x 400 m USA; na trzeciej zmianie wyraźnie (46,3/44,6 s) uległ Herbertowi McKenley’owi.
1953.09.20	Sensacyjnym, nowym rekordzistą świata w biegu na 400 m ppł został w 1953 roku biegacz Związku Radzieckiego <i>Jurij (Yuriy) Litujew (Lituyev)</i> . 20 września w czasie meczu Węgry-ZSRR rozgrywanego na Nepsztabionie w Budapeszcie uzyskał 50,4 s – o 0,2 s lepiej od 18-letniego rekordu Hardina. Litujew próbował pokonywać cały dystans w rytmie na 13 kroków. W Budapeszcie pokonał 7 odległości na 13 kroków, kolejne 2 na 15. Taka strategia biegu powodowała negatywny „split times” – różnicę między czasem drugiej i pierwszej części biegu (-0,3 s). To unikat w historii światowego biegu na 400 m ppł. Bieżnia w stolicy Węgier miała 500 m, co z całą pewnością ułatwiało bieg po wirażu.
1956.06.29, Los Angeles; 1956.08.06, Budapeszt	Finałowy bieg na 400 m ppł US Olympic Trials w Los Angeles, przejdzie do historii lekkiej atletyki, jako przełomowy w rozwoju tej konkurencji. <i>Glenn A. Davis i Edward „Eddy” Southern</i> , jako pierwsi biegacze uzyskali wyniki poniżej 50 s (odpowiednio 49,5 i 49,7 s). Davis zaprezentował zadziwiającą koncepcję „stride pattern” – po 20 krokach rozbiegu rozpoczął bieg między płótkami wyłącznie na jedną (=lewą) nogę atakującą, dwukrotnie zmieniając rytm biegu – 6 x 13 + 2 x 15 + 1 x 17. Po miesiącu Davis pobiegł bardziej przewidywalnie (i chyba rozsądnie), pokonując cały dystans na 15 kroków i ustanawiając kolejny rekord świata (49,2 s).
1956.11.23–24, Melbourne	„Wielki szlem” dla USA. Trzech płotkarzy Stanów Zjednoczonych zajęli podium na Igrzyskach Olimpijskich w Melbourne. Eddie Southern zwyciężył Glenna Davisa w półfinale (50,1/50,7), ale w finale mistrzem został Davis (50,1/Southern 50,8). Josh Culbreath w latach 1956–1958 służył w US Marine Corps. Tym razem Davis

	<p>pobiegł w klasycznym rytmie płotkarzy „jednonożnych” – 6 x 13 + 3x15. Zarówno Davis jak i Southern byli znakomitymi 400-metrowcami – rekordy życiowe na 440 y (45,4/45,5 s). Southern był jednocześnie świetnym sprinterem (20,5 s na 220 y) oraz płotkarzem (14,1 s na 120 y ppł).</p>
1958.07.22 Cardiff	<p>Gert Podgieter już w wieku juniora (ur. 1937 r.) miał szansę zdobycia medalu olimpijskiego; w Melbourne przewrócił się jednak na ostatnim płotku. W czasie Commonwealth Games w Walii zawodnik RSA pobił rekord świata na 440 y ppł samego Gleena Davisa. Wynik Podgietera z Cardiff zmierzono także wg pomiaru elektronicznego; rezultat 49,73 s był pierwszym w historii biegu na jedno okrążenie przez płotki wynikiem poniżej 50 s.</p>
1960.04.16 Bloemfontain	<p>W wiosenne popołudnie (16.04.1960 r., godz. 16:10) w Bloemfontain (RPA) <i>Gerhardus Potgieter</i> ustanowił rekord świata na 440 y ppł – 49,3 s. Mając na względzie różnice dystansów (440 y – 400 m = 2,34 m) oraz ogólnie przyjęty przelicznik czasowy (0,3 s), wynik Potgietera to pierwszy w historii lekkiej atletyki wynik na granicy 49 s. Uwzględniając strategię biegu na 400 m ppł ważne są trzy informacje:</p> <p>(1) Bieg odbywał się na wysokości 1292 m. n.p.m., co zdecydowanie wpływało na wartość wyniku</p> <p>(2) Bieżnia miała długość 550 y (dodatkowy plus)</p> <p>(3) Stride pattern Podgietera był specyficzny, aczkolwiek, wg różnych źródeł, zróżnicowany – 4 x 14 + 5 x 15 (Behm) lub 2 x 13 + 7 x 14 (Quarcentani). Większość autorów jest zgodna, że Podgieter bym mistrzem rytmu 14-krokowego.</p>
Lata 1960–1969	
1960.08.31- 02.09, Rzym	<p>Pierwszy bieg w historii igrzysk olimpijskich, w który, wszyscy medaliści uzyskali wyniki poniżej 50 s. Wszystkie medale do USA Cliff Cushman i Dick Howard straszili w biegach eliminacyjnych i w półfinale. W biegu finałowym mistrz (po raz drugi pierwszy w historii) był tylko jeden – Glenn Davis (49,51 s – rekord olimpijski). Cushman po zakończeniu kariery sportowej był pilotem wojskowym. W 1966 r. został zestrzelony nad Wietnamem i „zaginiony w akcji”. Jego ciała nigdy nie odnaleziono. W 1975 r. został uznany za zmarłego.</p> <p>Trzeci w finale, Dick Howard, po 7 latach walki z nałogiem zmarł po przedawkowaniu narkotyków w 1967 roku.</p>

	<p>Tym razem Gleen Davis wszystkie odległości pokonał w rytmie 15-krokowym. Amerykanin wybrał właściwą taktykę, tracąc tylko 1,3 s w drugiej części biegu (24,0 + 25,3 s). Najlepszy w Europie Helmut Janz źle ocenił swoje możliwości (23,9 + 26,0 s) i pomimo prowadzenia został bez medalu. Janz był świetnym technikiem (TI = 2,1 s), Davis słabym (TI = 3,8 s).</p>
1964.10.14-16, Tokio	<p>Zmagania olimpijskie na 400 m ppł po raz pierwszy ograniczono do 3 biegów rozgrywanych dzień po dniu (14-15-16 październik), co z pewnością miało wpływ na strategię biegów. Amerykanin Rex Cawley (49,6 s i złoty medal) oraz Anglik John Cooper (50,1 s i srebrny medal) byli najlepsi w trakcie wszystkich biegów. Spośród Włochów najlepszy był Salvatore Morale (brązowy medal), a syn mistrza olimpijskiego Glenna Hardina (1936 r.) William Foster Hardin nie wszedł do finału.</p> <p>Zarówno Cawley (183 cm) jak i Morale (175 cm) preferowali rytm 15-krokowy. Amerykanin znakomicie biegał dystans 120 y ppł (13,9 s).</p>
1968.09.11,	<p>W otoczeniu lasów South Lake Tahoe (na granicy stanów Kalifornia i Nevada), w warunkach wysokogórskich (2248 m n.p.m.), w czasie eliminacji lekkoatletów amerykańskich do Igrzysk Olimpijskich (US Olympic Trials) w Echo Summit <i>Geoffrey P. Vanderstock</i> (USA) uzyskał, jako pierwszy płotkarz na świecie, wynik poniżej 49 s na dystansie 400 m ppł (48,8/48,94 s).</p> <p>Amerykanin, pomimo znakomitych warunków fizycznych (186 cm/77 kg), wszystkie odcinki międzypłotkowe przebiegł w rytmie 15-krokowym. Vanderstock był słabym 400-metrowcem (47,7 s na 440 y) ale dobrym płotkarzem na 120 y ppł (14,0 s); stąd preferowanie biegu na jedną nogę atakującą.</p>
1968.10.15, Mexico City	<p>Wśród „kosmicznych” rekordów Igrzysk Olimpijskich w Meksyku znalazł się także wynik <i>Davidy P. Hemery’ego</i> w biegu na 400 m ppł. Anglik, specjalizujący się wcześniej na dystansie 110 m ppł (2 złote medale na Commonwealth Games; rekord życiowy 13,4 s), 15.10.1968 roku o godzinie 17:39, na wysokości 2248 m n.p.m. uzyskał 48,1/48,12 s. Następnego na mecie wyprzedziła o 8 m. Hemery w trakcie Igrzysk zachował się, jak prawdziwy mistrz. W eliminacjach przybiegł drugi (50,3 s), w półfinale pozwolił wyprzedzić się dwóm zawodnikom (49,3 s), a finale następnego płotkarza</p>

	<p>pokonał o 0,9 s. Medal wręczał zwycięzcy Lord David Burghley, pierwszy, angielski mistrz olimpijski na 400 m ppł. (ówczesny prezydent IAAF). Za plecami Anglika zwyciężającą walkę stoczyli <i>Gerhard Hennige</i> (2/49,0 s), <i>John Sherwood</i> (3/49,0 s), <i>Geoffrey Vanderstock</i> (4/49,0 s) oraz <i>Wiaczesław Skomorochow</i> (5/49,1 s). Wszyscy medaliści pokonywali płotki lewą nogą atakującą, w rytmie 13-krokovym aż do 6. płotka (5 x 13).</p> <p>Kolejne milowe kroki w rekordowych biegach na Igrzyskach w 1992 oraz w 2021 (patrz niżej).</p>
Lata 1970–1979	
1970.06.20, Des Moines	<p>W czasie Akademickich Mistrzostw USA w Des Moines <i>Ralph V. Mann</i> (193 cm/86 kg) jako pierwszy człowiek na świecie uzyskał wynik poniżej 49 s na dystansie 440 y ppł (48,8 s). Po zakończeniu kariery sportowej Mann zrobił doktorat z biomechaniki, publikując wiele prac, także związanych z biegiem przez płotki (np. „The Mechanics of Sprinting and Hurdling” z 2011 r.).</p>
1972.09.02, Monachium	<p>W finałowym biegu olimpijskim w Monachium, Ugandyjczyk <i>John Akii-Bua</i>, jako pierwszy człowiek na świecie uzyskał rezultat poniżej 48 s na dystansie 400 m ppł. Wynik 47,8 s był ostatnim rekordem mierzonym według ręcznego pomiaru czasu, a rezultat 47,82 s pierwszym, oficjalnym rekordem świata według pomiaru elektronicznego. Bieg finałowy był szybszą powtórką pierwszego półfinału – drugi był <i>Ralph Mann</i>, który o 0,01 s pokonał ustępującego mistrza olimpijskiego <i>Dave Hemery’ego</i> (48,51–48,52 s).</p> <p>Akii-Bua wykorzystał dwukrotną zmianę rytmu (4 x 13 + 4 x 14 + 15), mając małą różnicę między pierwszą i drugą częścią dystansu (1,8 s).</p>
1974.09.04, Rzym	<p>Po dwóch medalach na dystansie 110 m ppł (1969, 1971), Anglik <i>Alan Pascoe</i>, zdobył złoty medal na dystansie 400 m ppł w czasie Mistrzostw Europy w Rzymie. Rekordy życiowe: 13,4/13,79 s (110 m ppł) oraz 48,59 s (400 m ppł).</p>
1976.07.24–45	<p>Po rocznym treningu na dystansie 400 m ppł (pierwszy start – 52,0 w biegu eliminacyjnym w czasie zawodów uniwersyteckich), Amerykanin <i>Edwin G. Moses</i>, w czasie Igrzysk Olimpijskich w Montrealu najpierw (24.07), w półfinale, poprawił rekord USA (48,29 s), a w biegu finałowym (25.07) ustanowił swój pierwszy rekord świata (47,64 s), pokonując srebrnego medalistę o ponad sekundę. Moses wszystkie odległości między płotkami pokonał na 13 kroków, rozpoczynając 20-</p>

	krokovym dobiegiem. Pierwsze 5 płotków Amerykanin pokonał w 21,4 s, a różnica między dwoma częściami dystansu wynosiła 1,4 s.
Lata 1980–1989	
1980.07.03, Mediolan	Na International Civic Arena, o godz. 21.25, Edwin Moses ustanowił kolejny rekord świata. Jako pierwszy przebiegł pierwsze 5 płotków poniżej 21 s (20,9 s).
1980.07.23–25, Moskwa	Pod nieobecność płotkarzy amerykańskich i Horalda Schmida finałowy bieg na 400 m ppł w czasie Igrzysk Olimpijskich w Moskwie zwyciężyli reprezentanci krajów socjalistycznych (Volker Beck z NRD i Wasili Archipienko z ZSRR). Anglik Oaeks (rytm 4 x 15=5 x 15) i Archipienko (rytm 9 x 15) prowadzili do 200 m, potem Beck, biegnący wariantem 6 x 13 + 3 x 15 przyspieszył i pewnie zwyciężył. Beck był ideałem biegacza na 400 m ppł – miał 191 cm wzrostu i 400 m biegał w 45,50 s.
1983.08.09, Helsinki	Pierwszym mistrzem świata w biegu na 400 m ppł został Edwin Moses. Amerykanin następnego na mecie Haralda Schmida wyprzedził o 10 m (47,50/48,61 s). Moses pierwsze 5 płotków pokonał w 21,1 s i już na półmetku miał 0,5 s przewagi.
1984.06.17, Los Angeles	Rekord świata juniorów (do 19 lat) w biegu na 400 m ppł (wysokość płotka 91 cm) ustanowił w Los Angeles (17.06.1984 r.), późniejszy wicemistrz olimpijski Amerykanin Danny Harris (48,02 s). Później, do tego rekordu zbliżyli się Jehue Gordon z Trynidadu i Tobago (48,26 s na Mistrzostwach Świata w Berlinie w 2009 r.) oraz Keron Clement z USA (48,51 s – złoty medal na Mistrzostwach Świata Juniorów w 2004 r.).
1984.08.3–5, Los Angeles	Po 8. latach Edwin Moses zostaje po raz drugi mistrzem olimpijskim w biegu na 400 m ppł (47,75 s). O srebrny medal Igrzysk w Los Angeles walczyli 18-letni Dany Harris (48,13) i Niemiec z RFN Harald Schmid. Złoty medal był pewny od startu do mety (Moses – 9 x 13); o srebrny walczyli do końca 18-letni Harris (7 x 13+ 14 + 15) z 27-letnim Schmid'em (7 x 13 + 2 x 14). Wszystkie warianty „stride pattern” zostały wykorzystane.
1987.09.01, Rzym	Finał biegu na 400 m ppł mężczyzn z Mistrzostw Świata w Rzymie należy do najbardziej spektakularnych wydarzeń w historii lekkiej atletyki. Tytuł obronił Edwin Moses, który o 0,02 s wyprzedził Danny Harrisa i Harolda Schmida (47,46–47,48–47,48).

	<p>Moses źle ocenił swoje możliwości rozpoczynając w szybkim tempie (21,1 s na 5. płotku). Za nim (21,5 v 21,6 s) biegli Harris i Schmid, którym niewiele zabrakło do pokonania mistrza.</p> <p>Czwarty na mecie Sven Nylander od kilkunastu lat (1983–1996) stosował sprawdzony wariant 7 x 13 + 2 x 14.</p>
1988.09.23–25	<p>Po dramatycznym finiszu Edwin Moses nie dał rady po raz trzeci zwyciężyć na igrzyskach olimpijskich w biegu na 400 m ppł. Zwyciężył Andre Phillips, który odebrał Mosesowi rekord olimpijski (47,19 s) i pokonał o 0,04 s rewelacyjnego Senegalczyka Amadou Dia Ba. Phillips co bieg (co dziennie) poprawiał się o sekundę (49,34–48,18–47,19 s).</p> <p>Medale otrzymali płotkarze tej samej wysokości ciała (188 cm) i różnej budowie (odpowiednio - 84–74–78 kg). Piąty płotek trójka pokonała jednocześnie (20,9 s), a najlepszym finiszem (5,0 s na ostatnie 40 m) zaprezentował się płotkarz z Senegalu. Dia Ba rozpoczął karierę sportową jako skoczek wzwyż (215 cm) zdobywając medal na mistrzostwach Afryki.</p>
Lata 1990–1999	
1992.08.06, Barcelona	<p>W Igrzyskach Olimpijskich 7-krotnie (1908, 1920, 1932, 1968, 1972, 1976 i 1992) w czasie finałowych biegów na dystansie 400 m ppł ustanawiano rekordy świata. Siódmy rekord (aktualny do „kosmicznego finału” w 2021 r. ustanowił <i>Kevin Young</i> w czasie Igrzysk Olimpijskich w Barcelonie.</p> <p>Szóstego sierpnia 1992 r. o godzinie 19:00, w temperaturze 25°C i przy wilgotności 85% Amerykanin uzyskał pierwszy i dotychczas jedyny w historii rezultat poniżej 47 s (46,78 s). W czasie biegu Young pokonywał płotki w nieosiągalnym dla innych rytmie 12-13 kroków (2 x 13 + 2 x 12 + 5 x 13). Young uderzył w ostatni płotek, a ostatnie 40 m pokonał 17-ma krokami. Young pobił rekord życiowy prawie o 1 s (47,74/46,78 s).</p> <p>Piątego sierpnia, w czasie biegu półfinałowego na Igrzyskach Olimpijskich w Barcelonie Zambijczyk <i>Samuel Matete</i> (nieoficjalny czas na mecie 48,28 s) został zdyskwalifikowany za przewrót płotka na sąsiednim torze. Bieg po wirażu jest specyficzną częścią dystansu 400 m ppł.</p>

1996	Szesnastym amerykańskim mistrzem olimpijskim w biegu na 400 m ppł został w Atlancie Derrick Adkins (47,54 s). O brązowy medal walczyli 24-letni Amerykanin Calvin Davis (47,96 s) i 34-letni Szwed Sven Nylander (47,98 s). Calvin Davis do 1995 r. specjalizował się na dystansie 400 m (45,04 s); podobnie, jak Edwin Moses rozpoczął przygotowania ...niespełna 4 miesiące przed Igrzyskami. Jego przygotowaniami kierował Matete.
1997.08.04 (Ateny)	W 1995 roku w Göteborgu Stephane Diagana zdobył brązowy medal, 1997 r. w Atenach złoty (47,70 s), a dwa lata później srebrny (o 0,07 s przed Pawłem Januszewskim). Francuz jest jedynym płotkarzem, który ma wszystkie medale mistrzostw świata. Diagana rozpoczął w nadzwyczaj szybkim tempie, prowadząc zdecydowanie (5H - 20,7 s), Na mecie wyprzedził Llewellyn Herberta z RPA, który prezentował zupełnie niezrozumiały i archaiczny „stride pattern” (14 + 5 x 15 + 16 + 2 x 15).
1998. 08.20, Budapeszt	Mistrzostwo Europy dla Pawła Januszewskiego (179 cm/74 kg). Polak biegający nietypowym dla „mistrzów” rytmem (6 x 14 + 3 x 15) dwukrotnie ustanowił rekord kraju (48,90/48,17). W biegu półfinałowym, faworyt – Stephan Diagana przedłużył swoje możliwości biegu w rytmie na 13 kroków (7 x 13) i nie ukończył biegu.
1999.08.27, Sewilla	Filigranowy Fabrizio Mori (175 cm/68 kg) wygrywa z elitą płotkarzy. Włoch na 5. płotku miał 6 m straty do Francuzy Stephane Diagany (21,4 v. 20,8 s). Niepopularny rytm „nieparzysty (7 x 14 + 2 x 15) dominuje nad klasycznym szablonem stride pattern (6 x 13 + 2 x 14 + 15).
Lata 2000–2009	
2000.09.24– 25,27, Sydney	Począwszy od pierwszych Igrzysk Olimpijskich rozegranych w XXI wieku (Sydney) wprowadzono dwie innowacje w przepisach: pomiędzy półfinałem a finałem przewidziano dzień przerwy a do biegu finałowego kwalifikowało się po dwóch zawodników (+ 2 czasy) z trzech półfinałów. Rywalizację olimpijską wygrał po raz pierwszy, biegnący na pierwszym torze Angelo Taylor (47,50 s), który na ostatnich metrach o 0,03 s wyprzedził rewelacyjnego reprezentanta Arabii Saudyjskiej Hadi Souan Somayli (191 cm, 71 kg). Po raz pierwszy w finale olimpijskim w biegu na 400 m ppł wystąpił Polak – Paweł Januszewski. Po trudnych, z powodu pogody, eliminacjach (51,40 s i 48. wynik

	<p>eliminacji), dramatycznym półfinale (48,42 s i 4 miejsce, o 0,02 s za drugim Fabrizio Mori), w finale Polak był 6. – najlepszy z Europejczyków.</p> <p>Warunki wietrzne z biegów eliminacyjnego (na pierwszej prostej – wiatr przeciwny 5 m/s) dowodzą wpływu warunków zewnętrznych na strategię biegu na 400 m przez płotki.</p>
2002.08.09, Monachium	<p>Poza bezkonkurencyjnym Francuzem Diagona kolejne 3 miejsca zajęli płotkarze o niewielkim (dla płotkarzy na 400 m) potencjale motorycznym. Muzik (181 cm), Januszewski (179 cm) i Mori (175 cm) to płotkarze biegnący w rytmie 6 x 14 + 3 x 15.</p> <p>„Stride pattern” trudny i rzadko spotykany w dalszej historii biegu na 400 m ppł.</p>
2004.08.23– 24,26, Ateny	<p>Felix Sanchez pozbawił szans powtórnego sukcesu Angelo Taylora na igrzyskach olimpijskich już w półfinale (47,93 s Sancheza i 48,72 s Taylora – czwarte miejsce i brak awansu do finału). Sanchez przypomniał światu, gdzie leży Dominikana.</p> <p>Sanchez na półmetku przegrywał z Jamesem Carterem (5. płotek – 20,9 v. 20,8 s), jednakże najszybszy odcinek między 8. a 9. płotkiem (4,3 s) zdecydował o pierwszym olimpijskim zwycięstwie.</p> <p>Srebrny medal zdobył 32-letni Danny McFarlane. Jamajczyk w 2009 r. (37 lat) uzyskał 48,13 s – rekord świata „Masters”</p>
2007. 07.15, Ostrawa	<p>Na Mistrzostwach Świata Młodzieży (Kadetów) Amerykanin Wayne Davis zdobył złoty medal w biegu na 400 m ppł (o 1,32 przed następnym), bijąc rekord świata (do 17 lat, płotki 84 cm) wynikiem 49,01 s.</p> <p>Kuriozalny jest fakt, iż najlepszy wynik 17-latka nie może być własnością L.J. van Zyla (48,89 s), gdyż pobiegł na dystansie z płotkami wyższymi (91 cm). Louis Jacobus van Zyl w 2002 r. (w wieku 17 lat) na niskich płotkach uzyskał 50,82 s (29.05) a w biegu przez płotki wyższe 48,87 s (!).</p> <p>L.J. van Zyl przełamał wszystkie wiekowe schematy – już w 16. roku życia uzyskał 50,85/51,14 s „a po 17. latach, w wieku 33 lat przebiegł ten dystans w 49,45 s. W karierze płotkarza z RPA jest także cenna informacja pomocna w opracowywaniu strategii biegu – wysokość płotka.</p>
2008.08.15– 16,18, Beijing	<p>Angelo Taylor, jak Edwin Moses – drugi złoty medal olimpijski po 8 latach. Wszystkie medale zdobyli po raz kolejny (piąty) płotkarze USA (Taylor-Clement-Jackson).</p>

	<p>36-letni Jamajczyk Danny McFarlane pobił rekord świata weteranów (4 miejsce i 48,30 s).</p> <p>Taylor pozwolił poprowadzić bieg Jacksonowi tylko do 2 pętli (9,3/9,5 s), od 4. wyszedł na prowadzenie (5 pęt. – 20,7 s) i zwyciężył pewnie.</p>
2009.08.18, Berlin	<p>Kerron Clement to „cudowne dziecko” dystansu 400 m ppł. W 2004 r. zdobył tytuł mistrz świata juniorów (48,51 s), a rok później w hali pobił rekord świata na 400 m (płaskie) samego Michaela Johnsona (44,57 s). W latach 2007 (Osaka) i 2009 (Berlin) został mistrzem świata na 400 m ppł, a w 2008 (srebrny) i w 2016 r. (złoty medal) został medalistą olimpijskim.</p> <p>Clement to nietypowy, w kontekście opracowania stra-tegii biegu, płotkarz. Płotkarz „jednonożny”, wyłącznie z prawą nogą atakującą, co w przypadku kierunku biegu (w lewo) jest niekorzystne</p> <p>Najszybszy biegacz na 400 m spośród płotkarzy – 44,48 s na stadionie i 44,57 s w hali (pobity rekord świata samego M. Johnsona)</p>
Lata 2010–2017	
2012.02.18, Val-de Reuil	<p>Dystans 400 m ppł rozgrywany jest także w hali, absolutnym rekordzistą na tym dystansie jest Felix Sanchez, który w 2012 r. we Francji uzyskał wynik poniżej 49 s (48,78i).</p> <p>Modyfikacja treningu płotkarzy na 400 m w hali jest koniecznością w okresie zimowym. Przygotowanie to planowanej strategii jest wyzwaniem dla trenera i zawodnika.</p>
2012.06.29, Kingston	<p>Jamajczyk Danny McFarlane (rocznik 1972) to rekordzista świata w biegu na 400 m ppł w kategoriach M35 (48,13 s w 2009 r.) oraz M40 (49,69 s w 2012 r. – jedyny wynik poniżej 50 s w kategorii powyżej 40 lat).</p>
2012.08.03-04,05	<p>W biegach półfinałowych czterech płotkarzy (Sanchez, Gordon, Culson i Taylor) uzyskało wyniki poniżej 48 s.</p> <p>Losy finału rozstrzygnęły się po 8. pętli – przesadne tempo Culsona (5 pęt. – 20,48 s/8 pęt. – 33,20 s) i broniącego tytułu Taylora (odpowiednio 20,40/33,16 s) pozwoliły im na zajęciem 5. i 3. miejsca. Taylor stracił szansę na zdobycie trzeciego, złotego medalu olimpijskiego.</p> <p>35-letni Felix Sanchez, jako czwarty płotkarz w historii igrzysk olimpijskich zdobył dwa złote medale olimpijskie w biegu na 400 m ppł. Lista płotkarzy jest następująca: Glenn Davis (1956, 1960), Edwin Moses (1976–1984),</p>

	Angelo Taylor (2000, -, 2008) i Felix Sanchez (2004, -, 2012).
2013	Amerykański płotkarz Janson Richardson został w 2013 r. mistrzem świata młodzieży/kadetów (do lat 17.) na dwóch dystansach: 110 i 400 m ppł (13,29 i 49,91 s). Połączenie obydwu dystansów (na różnych etapach kariery sportowej) dotyczy także innych płotkarzy (Hemery, Caristan). W przypadku Richardсона dystans 400 m ppł był tylko dodatkiem (49,79 s) do bogatej kariery na 110 m ppł (12,98 s i srebrny medal olimpijski).
2014.07.12, Erfurt	Najbardziej utytułowanym płotkarzem na 300/400 m na świecie jest Guido Müller (ur. 22.12.1938 r.). Niemiec jest aktualnym rekordzistą świata w kategoriach M50 i M55 (400 m ppł, odpowiednio 55,18 i 58,92 s) oraz M60, M65, M70 i M75/2014 r. w Erfurcie (300 m ppł, odpowiednio 42,31, 43,89, 45,24, 49,65 s). Zawody „Masters” dowodzą możliwości kontynuowania rywalizacji płotkarzy przez długie lata. Przepisy biegu powracają do kategorii młodzieżowych.
2014	We Francji funkcjonuje strona internetowa poświęcona wyłącznie biegowi na 400 m przez płotki prowadzą ją Sylvain Dubail i J.J. Behm (autor monografii). Dane zawarte w ich pracach są pomocne w ocenie strategii biegów na tym dystansie.
2015.08.25, Moskwa	Wyniki finałowego biegu na 400 m przez płotki w czasie Mistrzostw Świata w Moskwie dowiodły, że ogólnie przyjęte standardy nie zawsze się sprawdzają. 25-letni Kenijczyk Nicholas Bett, trenujący „zaocznie” przez wybitnego trenera z RPA Hennie Koetza, zdobył złoty medal, z najlepszym wynikiem na świecie (47,79 s). Wynik z poprzedniego sezonu poprawił o 1,24 s. Niespecyficzny była także taktyka w 4-dniowej rywalizacji – zwyciężył w eliminacjach (48,37 s), z ostatnim wynikiem (48,54 s) wszedł do finału, by tam pewnie zdobyć złoty medal.
2016. 08. 16/18, Rio de Janeiro	Rywalizacja w finałowym biegu w Rio de Janeiro przebiegała pod dyktando Kerrona Clementa, który po 5. płotku przegrywał z Kenijczykiem Boniface Tumutim o 0,03 s, by pokonać go o 0,05 s (47,73 s). W biegu eliminacyjnym, 20-letni Norweg Karsten Warholm ustanowił rekord kraju (48,49 s), jednakże po słabszym biegu półfinałowym nie wszedł do finału. Norweg był wcześniej mistrzem świata kadetów (17 lat) w ośmioboju (2013) oraz mistrzem Europy ju-

	<p>niorów (400 m i dziesięciobój w 2015 r.). W roku olimpijskim został młodzieżowym mistrzem Europy i mistrzem świata seniorów na dystansie 400 m przez płotki. O wszechstronności Norwega świadczą jego rekordy życiowe – 10 m – 10,52 s, 400 m – 44,87 s, wzwyż – 205 cm, w dal – 7,66 m, 10-bój – 7764 pkt.</p>
Lata 2018–2022	
2018.06.30, Paryż	<p>Abderrahman Samba to, urodził się w Arabii Saudyjskiej, ale na początku kariery sportowej reprezentował barwy Mauretanii. Po pierwszych sukcesach przyjął obywatelstwo bogatego Kataru. W 2018 r. W 2018 r., na Stade Charlety w Paryżu uzyskał 46,98 s – po 26. latach pierwszy wynik poniżej 47 s.</p> <p>Szczupły (187 cm/75 kg) płotkarz przebiegł dystans w klasycznym rytmie 6 x 13 + 3 x 14 z szybkim (5 pł – 20,60 s) początkiem biegu, z akcentem na odcinek między 4. a 5. płotkiem (3,76 s).</p>
2019. 08.29, Zurich	<p>Miesiąc przed Mistrzostwami Świata, w czasie mityngu <i>Weltklasse</i> na Letzigrund w Zurichu, Amerykanin Rai Benjamin jako trzeci zawodnik w historii lekkoatletyki uzyskał wynik poniżej 47 s (46,98 s). Pomimo znakomitego wyniku płotkarz zajął drugie miejsce.</p> <p>Benjamin na początku był reprezentantem Antigui i Barbudy (=państwo karaibskie); po pierwszych sukcesach przyjął obywatelstwo USA. „Amerykanin” to najszybszy płotkarz w historii – jego rekordy życiowe to 10,03 s (100 m), 19,99 s (200 m) oraz 44,31 s (400 m). Strategia Benjaminina odbiegała od jego talentu szybkościowego – rozpoczynał wolno (5 pł. – tylko 21,30 s), by w drugiej części biegu utrzymywać przyjęte prędkości (różnica dwóch części dystansu to tylko 1,05 s). Cały dystans Benjamin (191 cm/77 kg) pokonywał w rytmie 13-krokowym.</p>
2020.08.23, Sztokholm/ 2021.07.01, Oslo	<p>Bieg na 400 m przez płotki od roku 2019 został zdominowany przez Europejczyka – Norwega Karstena Warholma. W latach 2017 i 2019 był już mistrzem świata, ale festiwal rekordowych wyników rozpoczął od wspomnianego wyżej biegu w Zurichu (46,92 s) w którym minimalnie pokonał Rai Benjamin. W 2020 r. w Sztokholmie poprawił ten wynik na 46,87 s, a w 2021 r., miesiąc przed Igrzyskami w Tokio, poprawił rekord świata Younga o 0,08 s (46,70 s).</p> <p>Warholm jest płotkarzem „lewonożnym”, o ustabilizowanym rytmie biegu – 8 x 13 + 15. Na mityngu w Zurichu za szybko rozpoczął pierwszą część biegu</p>

	(5 pł – 20,22 s) i musiał przejść na rytm 15-krokowy już po 8. płotku.
2021.08.03, Tokio	„Kosmiczne” wyniki w finałowym biegu na 400 m ppł. na Igrzyskach Olimpijskich w Tokio wg wielu specjalistów były wynikiem nowatorskiej konstrukcji obuwia. Warholm ustanowił fenomenalny (lepszy o 0,76 s) rekord świata, a Benjamin ustąpił mu tylko o 0,23 s. Brązowy medalista Brazylijczyk Alisson dos Silva także uzyskał wynik lepszy od Kevina Younga (46,72 s), przyjmując wariant rytmu byłego rekordzisty świata (2 x 13 + 2 x 12 + 5 x 13). Warholm rozpoczął bieg w niewiarygodnym tempie (5 pł. – 20,06 s), a na finiszu zdecydowanie pokonał Benjamina (5,04–5,23 s). Kyron McMaster z Brytyjskich Wysp Dziewiczych uzyskał 47,07 s (5 x 13 + 4 x 14) inie zdobył medalu.
2022.07.19 Eugene	W czasie Mistrzostw Świata w Eugene faworyt (Karsten Warholm) zajął dopiero 7. miejsce. Płotkarze z 5. pierwszych miejsc uzyskali wyniki poniżej 48 s. Wszyscy medalisci wykorzystywali 13-krokowy „rytm” kroków.

Piśmiennictwo

- Behm J.J. 2019. *L'étrange historie du rekord du Monde du 4H*. Breitschaft 1965.
- Brejzer i Wróblewski 1982
- Bułańczyk 1975
- Crego R. 2003. *Sports and Games of the 18th and 19th Centuries*. Greenwood Press, London.
- Dołgij 1976
- Geller 2009
- Hamacher H. 2007. *Leichtathletik im 19. Jahrhundert. Geschichte und Statistik. Band II (1881–1890)*, Düsseldorf.
- Hugman B.J. Arnold P. 1988. *The Olympic Games. Complete Track and Field Results 1896–1988*. Arena Press London.
- Hymans P. 1999.
- Hymans R. 1999–2020. *Progression of World Best Performances and IAAF Approved World Records*. IAAF Monaco.
- Iskra J. 2005. *Rozwój biegów przez płotki na świecie i w Polsce do 2004 roku*. Politechnika Opolska Opole.
- Iskra J. 2012. *Lekkoatletyczne tabele olimpijskie*. Politechnika Opolska, Opole.
- Iskra J., Walaszczyk A. 2013. Od plebejskiej rekreacji do sportu olimpijskiego. W poszukiwaniu rodowodu biegu na 400 m przez płotki, [w:] (red. J. Nowocień, K. Zuchora), *Sport w kulturze zdrowie, czasu wolnego i edukacji olimpijskiej*. AWF, Warszawa, 459–470.

- Kuchen A. 1985. *Atletika Encyklopédia*. Šport. Bratislava.
- Lipoński W. 2001. *Encyklopedia sportów świata*. Oficyna Wydawnicza Atena, Poznań.
- Lovesey P. 1980. *The official centenary history of the Amateur Athletic Association*. Guinness Superlatives. Ltd, Enfiel Middlessex.
- Lovesey P. 2005. The beginnings of indoor athletics. *Track Stats* 43: 3, 40–44.
- Lovesey P., Morbey K. 2016. *British Athletics 1866-1880*. National Union of Track Statisticians.
- Majszutowicz 1974
- Matthews P. 1982. *The Guinness Book of Track & Field Athletics. Facts & Feats*. Guinness Superlatives Limited, London.
- Matthews P. 2012. *Historical Dictionary of Track and Field*. The Scarecrow Press, Inc, Lanham/Toronto/Plymouth.
- Meyer G. 1978. *L'Athlétisme. Champions competitions, palmarès, entraînement*. *Encyklopedia* of Librairie Larousse Paris.
- Quercetani R.L. 2000. *Athletics. A history of modern track and field athletics (1860–2000). Men and women*. SEP Editrice, Milan.
- Quercetani R.L. 2009. *A World History of Hurdle and Steeplechase Racing. 1869-2008. Men and Women*. Edit Valardi, Milan.
- Sears E. 2008. *George Seward. America's first great runner*. The Scarecrow Press, Inc. Lanham Maryland.
- Susanka 1990.
- Törmä A. 2020. *Athletics in the 19th Century. A Statistical Review. Volume V. Years 1801–1848*. Finnish Athletics Archive Association, Helsinki.
- Wallechinsky D., Loucky J. 2012. *The Complete Book of the Olympics*. 2012 edition. Aurum Sport, London.
- Wasiliew 1967
- Watman M. 1981. *Encyclopedia of Track and Field Athletics*. (5th ed.) St. Martin's Press, New York/ Robert Hale Limited, London.
- Watman M. 2011. *The Official History of the AAA-1880-2010*. Sports Books Chelfenham.
- Webster D. 2011. *The world history of Highland Games*. Luath Press Limited Edinburgh
- Behm J.J. 2016. *Quatrache 400 haies. Historie du Monde. 1900–2016*.

2. Część metodologiczna

2.1. Materiał

W analizie uwzględniono 297 indywidualnych biegów na dystansie 400 m przez płotki mężczyzn rozgrywanych biegach na imprezach rangi mistrzowskiej. W sumie analizowano wyłącznie finałowe biegi rozgrywane na największych zawodach lekkoatletycznych w latach 1968–2017. W sumie uwzględniono: 13 (14) finałów olimpijskich (1968–2016/2021), 14 (15) finałów mistrzostw świata (1983–2017/2019), 12/13 finałów mistrzostw Europy (1971–2014/2018) a także eliminacje lekkoatletów amerykańskich (*Olympic Trials*) przed Igrzyskami w 2008 r. Wszystkie zawody rozgrywano na bieżni syntetycznej a końcowe wyniki notowano wg elektronicznego pomiaru czasu, z dokładnością 0,01 s. W sumie przeanalizowano międzyczasy biegów z 42 (45) imprez z lat 1968–2017. Wszystkie dane dotyczyły finałowych biegów w których uczestniczyło 8 biegaczy.

Kryterium wykluczenia dotyczyło tych płotkarzy, którzy (nie widząc szans na spodziewany sukces) zrezygnowali ze skutecznego finiszu (= wynik odbiegał +/- 2SD). W niektórych przypadkach (z przyczyn braku danych) uwzględniono wyłącznie dane z rywalizacji medalistów (miejsca 1–3). Szczegółowe dane podano w tabeli 1.

W sumie w analizie uwzględniono 141 indywidualnych biegaczy uczestniczących w imprezach 297 razy (\bar{x} – najlepszy wynik – (PB = *personal best result*): 46,78–50,68 s, wiek: 25,96 ± 3,69 lat, wysokość ciała 185,42 ± 5,92 m, masa ciała 76,47 ± 5,74 kg).

W analizie uwzględniono najlepszych płotkarzy w historii tej konkurencji. W grupie 100. najlepszych płotkarzy (listy „*all time*”; wyniki 46,78–48,39 s, stan danych na dzień 20.02.2021 r.) 18. płotkarzy zajmowało miejsca w pierwszej 20, 40 z listy 50. najlepszych płotkarzy w historii, a 70 Pochodziło z listy 100. najlepszych. Pozostali zawodnicy swoje najlepsze wyniki notowali między 100 a 200 miejscem w historii biegu na 400 m przez płotki (dane na podstawie „*World Athletics*”; dostęp: 20.10.2022).

Dodatkowo, w końcowej części pracy, dodano trzy ostatnie imprezy mistrzowskie (2018–2021/2022). Decyzja ta spowodowana była długim czasem redakcji tekstu a przede wszystkim wyjątkowym wzrostem poziomu sportowego w tym okresie.

Analiza objęła różne podziały międzygrupowe. Oto one (z podziałem na poszczególne rozdziały pracy):

1. Całość badanych grup (M=297 (+24)).
2. Podgrupy podzielone wg przyjętych kryteriów (np.: lepsi/słabsi, „starszy”/„młodzi”, „rytm” A, B, C..., itp.).
3. Indywidualne przypadki (=case study) – analiza najlepszych zawodników z lat 2018–2021.

Tabela 2.1.1.

Finałowe biegi na 400 m przez płotki uwzględnione w analizie

Mistrzostwa	Edycja/rok	Płotkarze
1. Olympic Games (13)	1968, 1972, 1976, 1980, 1984, 1988, 1992, 1996, 2000, 2004, 2008, 2012, 2016, <u>2021</u>	85
2. World Championships (14)	1983, 1987, 1991, 1993, 1995, 1997, 1999, 2001, 2003, 2005, 2007, 2009, 2011, 2015, 2017, <u>2019</u>	107
3. European Championships (12)	1971, 1978, 1982, 1986, 1990, 1994, 1998, 2002, 2006, 2019, 2012, 2014, <u>2018</u>	87
4. Olympic Trials (1)	2008	8
Razem:	1968–2016 (2021).	297

W związku z wyjątkowym postępowaniem wyników po roku 2017 (z finałem olimpijskim w 2021 r. w Tokio włącznie) wyłoniono także 2 grupy płotkarzy z lat 2013–2016 oraz 2017–2021 – tabela 2.1.2.

Tabela 2.1.2.

Finałowe biegi na 400 m przez płotki uwzględnione w dodatkowej analizie z lat 2013–2021

Mistrzostwa	Rok	Płotkarze
1. Igrzyska Olimpijskie (1+1)	2016, <u>2021</u>	8+8
2. Mistrzostwa Świata (2+2)	2013, 2015, <u>2017, 2019</u> <u>+(2022)</u>	
3. Mistrzostwa Europy (1+1)	2016, <u>2018</u>	
Razem:	2013–2021 (2022)	30 +37

2021 – podkreślona grupa płotkarzy z lat 2017–2022

Tabela 2.1.3.

Zestawienie zawodów na podstawie których przeprowadzono analizę (układ chronologiczny) – mężczyźni

Lp.	Rok	Impreza/miasto	Zwycięzca	Min-max (s)	n
1	1968	OG/Mexico City	Hemery David (GBR)	48,12–50,13	8
2	1971	EC/Helsinki	Nallet Jean-Claude (FRA)	49,20–50,00	3
3	1972	OG/Monachium	Akii-Bua John (UGA)	47,82–50,25	8
4	1976	OG/Montreal	Moses Edwin (USA)	47,64–49,45	3
5	1978	EC/Praga	Schmid Harald (GER)	48,68–50,46	8
6	1980	OG/Moskwa	Beck Volker (GDR)	48,70–49,11	3
7	1982	EC/Ateny	Schmid	47,48–48,64	3
8	1983	WC/Helsinki	Moses	47,64–49,78	8
9	1984	OG/Los Angeles	Moses	47,75–50–69	7
10	1986	EC/Stuttgart	Schmid	48,65–50,45	6

11	1987	WC/Rzym	Moses	47,46–49,46	8
12	1988	OG/Seul	Phillips Andre (USA)	47,19–48,76	8
13	1990	EC/Split	Akabusi Kriss (GBR)	47,93–48,92	5
14	1991	WC/Tokio	Matete Samuel (ZAM)	47,64–50,28	8
15	1992	OG/Barcelona	Young Kevin (USA)	46,78–49,26	8
16	1993	WC/Stuttgart	Young	47,18–49,23	8
17	1994	EC/Helsinki	Twerdochleb Oleg (UKR)	48,02–48,53	8
18	1995	WC/Göteborg	Adkins Derrick (USA)	47,98–49,86	8
19	1996	OG/Atlanta	Adkins	47,54–48,78	8
20	1997	WC/Ateny	Diagana Stephan (FRA)	47,70–49,51	8
21	1998	EC/Budapeszt	Januszewski Paweł (POL)	48,17–49,02	4
22	1999	WC/Sevilla	Mori Fabrizio (ITA)	47,72–49,06	8
23	2000	OG/Sydney	Taylor Angelo (USA)	47,50–49,01	8
24	2001	WC/Edmonton	Sanchez Felix (DOM)	47,48–49,07	8
25	2002	EC/Monachium	Diagana	47,58–49,41	7
26	2003	WC/Paryż	Sanchez	47,25–48,90	6
27	2004	OG/Ateny	Sanchez	47,63–49,51	8
28	2005	WC/Helsinki	Jackson Bershawn (USA)	47,30–50,18	7
29	2006	EC/Göteborg	Iakovakis Periklis (GRE)	48,46–50,31	8
30	2007	WC/Osaka	Clement Kerron (USA)	47,61–49,25	6
31	2008	OT/Eugene	Jackson	48,17–49,18	7
31	2008	OG/Pekin	Taylor A.	47,25–49,96	8
32	2009	WC/Berlin	Clement Kerron (USA)	47,91–48,68	7
33	2010	EC/Barcelona	Greene David (GBR)	48,12–49,70	7
34	2011	WC/Deagu	Greene	48,26–49,32	8
35	2012	EC/Helsinki	Williams Rhys (GBR)	49,33–49,70	4
36	2012	OG/Londyn	Sanchez Felix (DOM)	47,63–49,15	8
37	2013	WC/Moskwa	Gordon Jehue (TRI)	47,69–49,08	8
38	2014	EC/Zurich	Hussein Kariem (SUI)	48,96–50,14	8
39	2015	WC/Pekin	Bett Nicholas (KEN)	47,79–49,14	7
40	2016	EC/Amsterdam	Copello Yasmani (TUR)	48,98–49,82	7
41	2016	OG/Rio de Janeiro	Clement	47,73–49,09	7
42	2017	WC/Londyn	Warholm Karsten (NOR)	48,35–49,04	6
Część dodatkowa (do analizy statystycznej)					
43	2018	EC/Berlin	Warholm	47,64–49,41	8
44	2019	WC/Doha	Warholm	47,42–49,46	8
45	2021	OG/Tokio	Warholm	45,94–48,77	8
Część najnowszych danych (do analizy opisowej)					
46	2022	WC/Eugene	Dos Santos	46,29–48,41	8

W części komentarza (bez obliczeń statystycznych) wykorzystano także wyniki i analizy z Mistrzostw Świata w 2022 r. w Oregonie

Skróty: OG – igrzyska olimpijskie, WC – mistrzostwa świata, EC – mistrzostwa Europy, OT – Olympic Trials

Dane wykorzystane w pracy pochodzą z piśmiennictwa (tabela 2.1.4) oraz z danych w sieci www. („World Athletics” – dane wykorzystywane do końca oddania pracy do druku)

Tabela 2.1.4.

Czasowo-przestrzenna analiza strategii biegu na 400 m przez płotki – źródła danych

Rok/zawody	Źródło
1968/OG	Hemery i Houdston (1969)
1972/OG	Letzelter (1973)
1976/OG	Canova (1979)
68-72-76/OG	Le Masurier 1978
1986/EC	Moravec i Susanka (1986)
1987/WC	Susanka i wsp. (1988)
1988/OG	Glad i Brüggeman (1990), Susanka i wsp. (1990),
1990/EC	Moravec i wsp. (1990)
1991/WC	Morita i Igarashi (1992)
1996/OG	Moriorka (1997)
1997WC	Hommel i Koszewski (1999)
2000/OG	Ditroilo i Marini (2001)
2009/WC	Graubner i Nixdorf (2011)
2011/WC	Lopez del Amo i wsp. (2012)
1968–2022	Behm i Dubail (2014–2021)
2018–2022	«World Athletics»

Kryterium wykluczenia

Do analizy włączono wyłącznie biegów finałowych w czasie najważniejszych imprez lekkoatletycznych – igrzysk olimpijskich, mistrzostw świata i mistrzostw Europy. Spośród tych rezultatów w badaniach nie uwzględniono:

- zawodników, którym po imprezie udowodniono doping,
- płotkarzy, którzy nie widząc szans na dobry rezultat (np. po znaczących błędach lub z odnowioną kontuzją) wyraźnie zwalniali na ostatniej proste.

2.2. Metodologia podstawowa

Cel pracy i związane z nim pytania badawcze

Głównym celem pracy było opisanie wszystkich elementów strategii biegu na 400 m przez płotki mężczyzn na najwyższym poziomie zaawansowania.

Każdy kolejny rozdział miał specyficzne cele i związane z nim pytania badawcze.

Pytania zadawano na początku rozdziałów. Ich weryfikację zamieszczono we wnioskach, podzielonych na dwa poziomy:

- empiryczny (=analiza danych statystycznych).
- szkoleniowy (=wykorzystanie wyników badań w modyfikacji procesu szkolenia).

Podstawowe uzgodnienia

1. Wszystkie pomiary dokonano z dokładnością 0,01 s (pomiar elektroniczny).
2. Pomiary czasowe (= *split times*) analizowano wg różnorodnych metod, wykorzystywanych wielokrotnie w analizach naukowych (patrz – „Materiał”)
3. Uwzględniono wyłącznie biegi finałowe, w których wysiłek można określić jako „*all effort*”) – patrz „Materiał”

Rzetelność danych

Rzetelność (*reliability*) danych czasowych wykorzystywanych w analizie strategii biegu na 400 m przez płotki (m.in. w pracy Greene i wsp. 2008) potwierdził O'Donoghue (2015).

Analizując wyniki uzyskane przez dwóch obserwatorów Peter O'Donoghue ocenił błąd pomiaru (w aspekcie różnic pierwszej i drugiej części dystansu) jako 0,037 s (błąd absolutny) oraz standardowy błąd pomiarowy – 0,040 s (O'Donoghue 2015, s. 233).

W badaniach przeprowadzonych przez Greene i wsp. (2008) wykorzystano System Focus x 2 (25 kl./s) z dokładnością pomiaru (precision of timing) określoną na 0,04 s.

Oceniają różnice czasu między dwoma obserwatorami biegu na dystansie 400 m przez płotki (8 biegaczy, w każdym przypadku analizowano 11 parametrów czasowych, obejmujących czas pokonywania 10. płotków i końcowy rezultat) wyniki przedstawiono w tabeli 2.2.1.

Tabela 2.2.1.

Błąd pomiarowy i częstość jego występowania w analizie czasowej (inter-observer reliability) biegu na 400 m przez płotki (wg Greene i wsp. 2008 oraz O'Donoghue 2015)

Błąd (s)	-0,20	-0,16	-0,12	-0,08	-0,04	0,00	0,04	0,08	0,12	0,16	0,20
Częstość występowania	0	1	3	7	20	38	9	3	4	0	1

Autorzy przedstawili także różnice (%) w ocenie jednego z analizowanych parametrów (=wzrost czasu drugiej części dystansu w porównaniu do pierwszej – wyrażone w wartościach procentowych) w ocenie dwóch obserwatorów – tabela 2.2.2.

Tabela 2.2.2.

Rzetelność analizy czasowej w biegu na 400 m przez płotki (wg O'Donoghue 2015, s. 233)

Zawodnik (tor)	Obserwator nr 1	Obserwator nr 2	Różnica
2	14,91	14,89	0,02
3	11,48	11,64	-0,16
4	10,58	10,89	-0,31
5	11,75	11,73	-0,02
6	11,19	10,84	-0,35
7	7,17	7,64	-0,47
8	11,23	11,21	0,02
9	16,37	16,17	0,20
x	11,84	11,88	-0,04
SD	2,79	2,62	0,27

Metody statystyczne

1. Statystyki podstawowe. Charakterystykę badanych grup dokonano na podstawie podstawowych parametrów statystycznych – średniej arytmetycznej (\bar{x}), odchylenia standardowego (SD), mediany (Med), wartości maksymalnej i minimalnej (min-max). W standardowym opisie uwzględniono także współczynniki skośności (Sk) i kurtozy (Ku), potrzebnych m.in do wyeliminowania ewentualnych błędów w notowaniu tysięcy danych.
2. Normalność rozkładu oceniano na podstawie Testu Shapiro-Wilka, a w przypadku stosowania jednoczynnikowej analizy wariancji (ANOVA), zastosowano również test jednorodności wariancji Levene'a. Brakowało podstaw do odrzucenia hipotezy o rozkładzie normalnym.

3. Analiza wariancji. Do oceny zróżnicowania średnich wartości zmiennych w wybranych grupach (w g potrzeb) wykorzystano parametryczną analizę wariancji ANOVA z testem post-hoc NIR (dla nierównych liczebności)
4. Analiza korelacji. Związki między wybranymi zmiennymi (grupami zmiennych) oceniano na podstawie korelacji prostej Pearsona. Istotność zależności przyjęto na poziomach 0,05, 0,01 i 0,001.
5. Analiza regresji. Określając związek między zmienną objaśnianą (zależną, głównie czasy wybranych odcinków biegu) a zmiennymi objaśniającymi (niezależnymi, głównie inne wybrane parametry).
6. Analiza czynnikowa. W celu zredukowania obszernej liczby zmiennych wykorzystano jedną z analiz czynnikowych – analizę składowych głównych (PCA – *Principal Component Analysis*)

Wszystkie obliczenia wykonywano z wykorzystaniem programu STATISTICA.

Piśmiennictwo tematyczne*

Greene i wsp. 2008

Leyshon 2012

Morton 1997

O'Donoghue P. 2010, 2015

*szczegóły identyfikacyjne podano na końcu pracy

2.3. Podział dystansu 400 m przez płotki

Kryteria

Dokonując podziału dystansu 400 m przez płotki musimy uwzględnić szereg kryteriów, które przedstawiono w tabeli 2.3.1.

Tabela 2.3.1.

Kryteria podziału dystansu 400 m przez płotki

Lp.	Kryterium	Charakterystyka
1	Regulaminowe	Bieg na 400 m przez płotki to bieg przez 10 płotków o wysokości 91 cm ustawionych co 35 m (w sumie 9 odległości). Dobię do pierwszego płotka oraz odległość od ostatniego płotka do mety są dłuższe (odpowiednio – 45 i 40 m).
2	Matematyczne	Podział oparty na 4. równych (100 m) częściach biegu (kolejno: 100-200-300-400 m) sprawdza się w biegu na 400 m (bez płotków). W biegu z płotkami każde 100 m jest inne. Próby wykorzystywania matematycznego podziału opierają się na czasach „szacowanych”, uwzględniających prędkości biegu po najbliższych granicznego dystansu płotka (np. 5. płotek +15 m na dystansie 200 m).
3	Strukturalne (geometryczne)	Bieg na 400 m przez płotki odbywa się na dwóch wirażach oraz po dwóch prostych. Powyższy podział jest czytelny jedynie na pierwszym torze; następne tory przesuwają start i kolejne płotki na zewnątrz. Jeżeli przyjmiemy wewnętrzne tory, to płotki 1-2 znajdują się na pierwszym wirażu, płotki 3-4 na pierwszej prostej a 9-10 na drugiej prostej. Pomijając promień wirażu (tor biegu) na drugim znajdują się płotki 6-8, a na torach VII-VIII również płotek nr 5. Tor biegu różnicuje liczbę płotków (2-3) i wpływa na możliwości analizy porównawczej. Do tych trudności można dołączyć także niekorzystne działanie wiatru, uzależnione od kierunku i toru biegu.
4	Fizjologiczne	Bieg na 400 m przez płotki to dystans o przewadze przemian beztlenowych. Zgodnie z klasyczną fizjologia wysiłku fizycznego, dystans do 2 płotka dotyczy przemian beztlenowych niekwasomlekowych, a następne – przemian kwasomlekowych.
5	Biomechaniczne	Pod wpływem zmęczenia zmieniają się nie tylko parametry kinematyczne (m.in. długość kroku płotkowego) lecz także prędkości pokonywania kolej-

		nnych odległości między płótkami. Dane uwzględnione w pracy dotyczą głównie prędkości biegu (badania akcelerometryczne).
6	Szkoleniowe (motoryczne)	Zgodnie z większością koncepcji treningowych szkolenie o charakterze specjalnym (płótkarskim) obejmuje 5 faz biegu: <ol style="list-style-type: none"> 1. Dobieg do pierwszego płótki (0-1). 2. Bieg w pierwszej części biegu (1-3/4; tzw. „szybkość płótkarska”). 3. Bieg w środkowej części biegu (4-7/8; tzw. „technika/rytm płótkarski). 4. Bieg w końcowej części biegu (8-10; tzw. wytrzymałość specjalna/płótkarska). 5. Finisz biegu (10-F;bieg od ostatniego płótki do mety.
7	Szkoleniowe (techniczne)	Każda z części dystansu charakteryzuje się innym sposobem pokonywania płótki – od stałego „ <i>stride pattern</i> ” (np. bieg na 13 kroków), przez planowaną zmianę nogi atakującej (np. 13-14) aż do nieplanowanej konieczności atakowania płótki, w zależności od stopnia zmęczenia (np. 14-15 po 8. płótku). Każdy z tych elementów powinien być uwzględniony w procesie szkolenia.

Quinn (2010) dzieli dystans 400 m ppł. Na 4 fazy: czas reakcji (1), dobieg do pierwszego płótki („*approach-run phase*”-2), „jednostki płótkowe” (=“*hurdle units*”-3) oraz odcinek finiszowy („*run-in*”-4). Pomijając czas reakcji (jego wpływ nie jest istotny w końcowym wyniku) – pozostałe fragmenty biegu są istotną częścią strategii biegu na 400 m przez płótki. W obszarze parametrów przestrzennych Quinn „*stride pattern*” (= *numer of strides*) pojmuje jako sumę:

$$N=N1 + N2 + N3 + HS,$$

gdzie N1 = liczba kroków wykonywanych na dobiegu, N2 = kroki wykonywane w 9. jednostkach płótkowych, N3 = liczba kroków na odcinku finiszowym a HS to 10x krok płótkowy (= *hurdle stride*).

Podział dystansu 400 m przez płótki na części to podstawowe działanie w opracowywaniu strategii biegu.

Z powodu przeszkód (=10 płótków) ustawionych w regulaminowych warunkach (odległości 35 m) proste podziały akceptowane w konkurencjach sprinterskich (50, 100, 200 m) są nieadekwatne do specyfiki konkurencji.

Podziały „matematyczne” (4 x 100 m, 2 x 200 m) to tylko szacunkowe dane, proste do realizacji na dystansach „płaskich” (200-400 m).

Podjmując analizę strategii biegu na 400 m przez płotki konieczne jest podjęcie decyzji o podziale dystansu na części. W biegu na 400 m (bez płotków) podział ten najczęściej dotyczy matematycznego podziału na odcinki 100-metrowe, rzadziej 50-metrowe. Nawiązując do specyfiki reakcji fizjologicznych taki podział może w znacznej mierze przybliżyć strategię biegu na jedno okrążenie bez płotków do biegu na 400 m przez płotki. Podział dystansu w biegu na 400 m przez płotki warunkuje jednak ustawienie 10. płotków na całym dystansie. Próba podziału dystansu 400 m przez płotki powinna więc uwzględniać kilka elementów. Pierwszym, podstawowym, jest uwzględnienie kolejnych odległości między płotkami (jednostek płotkarskich – JP).

Mając na względzie różne kryteria w kontekście czterech „matematycznych” części biegu można przedstawić szczegóły najprostszego podziału – tabela 2.3.2.

Tabela 2.3.2.

Wybór czterech fragmentów biegu na 400 m przez płotki według przyjętych kryteriów

Kryterium	Fragmenty biegu			
	1	2	3	4
1. Matematyczne	Pierwsze 100 m (pierwsza „ćwiartka”)	Drugie 100 m (druga „ćwiartka”). Także: Pierwsza połowa dystansu (0–200 m)	Trzecie 100 m (trzecia ćwiartka)	Czwarte 100 m (czwarta ćwiartka). Także: Druga połowa dystansu (200–400 m)
2. Regulaminowe (przepisy)	Dobieg + płotki 1–2 (3)	Płotki 3–5/6	Płotki 5/6–8	Płotki 8–10 (Wybieg)
3. Strukturalne (geometryczne)	Pierwsza prosta	Pierwszy wiraż	Druga prosta	Drugi wiraż
4. Biomechaniczne (kinematyczne, akceleracja)	Przyspieszenie startowe	Utrzymanie prędkości maksymalnej	Spadek prędkości (1)	Spadek prędkości (2)
5. Fizjologiczne	Wysiłek anaerobowy niekwasomlekowy	Wysiłek anaerobowy (niekwasomlekowy)	Wysiłek anaerobowy	Wysoki wysiłek anaerobowy
6. Techniczne	Rytm niezmienny (ustalony (1))	Rytm niezmienny (2)	Planowane zmiany rytmu	Nieplanowane zmiany rytmu
7. Treningowe (motoryczne)	Przyspieszenie biegowe (+ „szybkość płotkarska”)	„Technika” płotkarska	„Rytm” płotkarski	Wytrzymałość płotkarska (+ biegowa)

Podstawowe podziały

A. Regulaminowy podział dystansu – odległości między płótkami (podstawowe i dodawane) uzupełniane dobiegiem do pierwszego płótki oraz odcinkiem finiszowym

Podstawową częścią dystansu jest odległość między kolejnymi płótkami o długości 35 m – w sumie w analizie uwzględniono 9 podstawowych „jednostek płótkarskich” (JP). Podstawowa analiza uwzględnia także dobieg (45 m) oraz tzw. „wybieg, czyli odcinek od ostatniego płótki do mety (40 m). O ile odcinki między płótkami są porównywalne, jedynie dodanie odcinka wstępnego i końcowego często stwarzają istotne trudności w analizie statystycznej.

Grupując JP należy zwrócić uwagę na wiele możliwości tworzenia odcinków „dodawanych”, w których często zmuszeni jesteśmy z rezygnacji jednego z podstawowych odcinków. W innych wariantach podstawowe jednostki płótkarskie nakładają się (5–6JP).

W tabeli 2.3.3. podano wszystkie możliwości podziału z uwzględnieniem JP.

Tabela 2.3.3.

Podział podstawowych i dodawanych jednostek rytmicznych

nJP	Odcinek	Zmienne podstawowe	Zmienne dodatkowe	Liczba zmiennych
1JP	35 m	h ₁₋₂ h ₂₋₃ h ₃₋₄ h ₄₋₅ h ₅₋₆ h ₆₋₇ h ₇₋₈ h ₈₋₉ h ₉₋₁₀		9
2JP	70 m	H ₁₋₃ H ₃₋₅ <u>H₆₋₈</u> H ₈₋₁₀	H ₂₋₄ H ₄₋₆ <u>H₅₋₇</u> H ₇₋₉	8 (4 + 4)
3JP	115 m	H ₁₋₄ H ₄₋₇ H ₇₋₁₀	H ₂₋₅ H ₃₋₆ H ₅₋₈ H ₆₋₉	7 (3 + 4)
4JP	150 m	H ₁₋₅ H ₆₋₁₀	H ₂₋₆ <u>H₃₋₇</u> H ₄₋₈ H ₅₋₉	6 (2 + 4)
5JP	185 m	H ₁₋₆ H ₅₋₁₀	H ₂₋₇ <u>H₃₋₈</u> H ₄₋₉	5 (2 + 3)
6JP	220 m	H ₁₋₇ H ₄₋₁₀	H ₂₋₈ <u>H₃₋₉</u>	4 (2 + 2)
Suma	35–220 m	22	17	39 (22 + 16)
Dodatkowe odcinki				
h0-1	45 m	h0-1	Dobieg	1
h10-F	40 m	h10-F	Wybieg	1

Inny sposób przedstawienia podziału dystansu na odcinki warunkowane ustawieniem płótków przedstawiono w tabeli 2.3.4.

Tabela 2.3.4.

Parametry czasowe (podstawowe i dodawane) w biegu na 400 m przez płotki

1. Jedna JR	t ₀₋₁	t ₁₋₂	t ₂₋₃	t ₃₋₄	t ₄₋₅	t ₅₋₆	t ₆₋₇	t ₇₋₈	t ₈₋₉	t ₉₋₁₀	t _{10-F}
2. Dwie JR*		T ₁₋₃	T ₃₋₅	T ₅₋₇	T ₇₋₉						
		T ₂₋₄		T ₄₋₆		T ₆₋₈		T ₈₋₁₀			
3. Trzy JR**		T ₁₋₄	T ₄₋₇	T ₇₋₁₀							
		T ₂₋₅			T ₅₋₈						
			T ₃₋₆			T ₆₋₉					
4. Cztery JR***		T ₁₋₅	T ₅₋₉								
		T ₂₋₆				T ₆₋₁₀					
		T ₃₋₇									
		T ₄₋₈									
5. Pięć JR		T ₁₋₆									
		T ₂₋₇									
		T ₃₋₈									
		T ₄₋₉									
		T ₅₋₁₀									
6. Sześć JR		T ₁₋₇									
		T ₂₋₈									

JP – podstawowa jednostka płotkarska, czasami nazywana „jednostką rytmiczną”

* – także „ćwiartki” dystansu, ** – także „1/3” dystansu, *** – także „połówki” dystansu

Objaśnienia:

1. Jedna jednostka płotkarska, parametr podstawowy (pojedynczy) (ang. *single/basic unit*) (1JR) – podstawowa część dystansu, obejmująca odległość między płotkami, ściślej (w analizie czasowej) między „zejściem” z płotka poprzedzającego a „zejściem” z płotka następnego. 1JR stanowi wstęp do wszystkich analiz czasowych w biegu na 400 m przez płotki. Odległość – 35 m.

2. Dwie jednostki płotkarskie, parametry podwójne/dwukrotne (ang. *„double units/parameters”*) – dwa odcinki biegu, suma dwóch, sąsiadujących jednostek płotkarskich, często określane jako „ćwiartki” dystansu. Odległość – 70 m.

3. Trzy jednostki rytmiczne, parametry potrójne/trzykrotne (ang. *„triple units/parameters”*) – trzy kolejne odcinki biegu, suma (czasu/kroków) trzech sąsiadujących części biegu przez płotki, często określane jako „1/3 biegu”. Odległość – 115 m.

4. Cztery jednostki rytmiczne, parametry poczwórne/czterokrotne (ang. *„quadruple units/parameters”*) – cztery kolejne odcinki biegu, łączące cztery sąsiadujące jednostki rytmiczne; w praktyce szkolenia oceniane jako „niecałe” połówki dystansu. Odległość – 150 m.

5. Pięć jednostek rytmicznych, jednostki/parametry pięciokrotne (ang. *„five old units/parameters”*) – pięć kolejnych odcinków biegu, często określanymi jako „przedłużona połówka” dystansu.

6. Sześć jednostek rytmicznych, jednostki/parametry sześciokrotne (ang. *sixfold units/parameters*) – cykl sześciu kolejnych jednostek plotkarskich, ocenianych w treningu płotkarzy jako „odcinki długie”.

B. „Matematyczny” podział dystansu (parametry szacowane)

Uzupełnieniem do podziału dystansu opartego na przepisach biegu jest szacowanie części dystansu opartych na prostym podziale matematycznym: na „połówki” (2 x 200 m), „1/3” (3 x 133,33 m) oraz „ćwiartki” (4 x 100 m). Taki podział niesie ze sobą trudności interpretacyjne związane z różną liczbą płotków, ukształtowanie bieżni (krzywizny torów) czy możliwość analizy wyłącznie czasowej. W tabeli 2.3.5. podano charakterystykę szacowanego podziału dystansu.

Tabela 2.3.5.

Parametry szacowane

Część szacowana	Zmienna	Dystans	Wzór
„Połówki” dystansu (200 m) ¹	T_{I-200H}	0-5pł + 15 m	$T_{0-5} + 15/35 * t_{5-6}$
	T_{II-200H}	20 m + 6-F	$T_{400H} - T_{I-200H}$
1/3 dystansu (133 m)	T_{I-1/3}	0-4pł – 16,67 m	$T_{0-4} - 16,67/35 * t_{3-4}$
	T_{II-1/3}	0-7pł + 11,66 m	$(T_{0-7} + 11,66/35 * t_{7-8}) - T_{I133,3}$
	T_{III-1/3}		$T_{400H} - (T_{II1/3} + T_{III1/3})$
„Ćwiartki” dystansu (100 m)	T_{I-100H}	2pł + 20 m	$T_{0-2} + 20/35 (0,571) t_{2-3}$
	T_{II-100H}	5pł + 15 m	$T_{0-5} + 13/35 (0,428) t_{5-6}$
	T_{III-100H}	8 pł + 10 m	$T_{0-8} + 10/35 (0,286) t_{8-9}$
	T_{IV-100H}	10 m po 8. pł – do mety	$T_{400} - (T_{I-100m} + T_{II-100m} + T_{III-100m})$

¹ – wg Gereene (2008) oraz Greene i wsp. (2008)

² – dane własne

³ – wg Letzelter M. i Letzelter H. (1980)

Boczwarow (1985) zaproponował wzory obliczeń czasowych, wzbogaconych o czasy zawarte w rozbudowanych tabelach. Oto one:

$$T_{100H} = T_{2H} + N1 \text{ gdzie } N1 = t_{2-3} \times 19/35$$

$$T_{200H} = T_{5H} + N2 \text{ gdzie } N2 = t_{5-6} \times 14/35$$

$$T_{300H} = T_{8H} + N3 \text{ gdzie } N3 = t_{8-9} \times 9/35$$

Podział na równe (100 m) części dystansu – 100H+ 200H + 300H + 400H (według Letzelter M.i Letzelter H. 1978). Podział kontrowersyjny, ze względu na uwzględnienie dobiegu i wybiegu oraz (co najważniejsze) różnej liczby płotków. Ponadto pomiar czasu na równych (tylko metrycznych) odcinkach jest trudny do realizacji (bieg po 8. torach). Powyższe rozważania są pomocne w porównaniach strategii biegów na 400 m – z płotkami i bez. Podział na 3 części biegu jest nietypowy, jednakże struktura czasowa biegu dowodzi jego sensowności. Podział na dwie części jest klasyczny, często wykorzystywany w analizach naukowych.

**Próba wyboru optymalnych zmiennych w ocenie strategii biegu
na 400 m przez płotki**

Podział na 4 części biegu

Tabela 2.3.6.

„Ćwiartki” – próby analizy biegu podzielonego na 4 części

Wariant	Część dystansu				Charakterystyka
	I	II	III	IV	
1)	H ₀₋₃	H ₃₋₅	H ₅₋₈	H _{8-F}	Uwzględniono cały dystans łącznie z dobiegiem i wybiegiem. Nierówne części dystansu, jednakże 2 proste i 2 wiraże
2)	H ₀₋₃	H ₃₋₆	H ₆₋₈	H _{8-F}	Ocena bardzo długiej prostej.
3)*	H₁₋₃	H₃₋₅	H₆₋₈	H₈₋₁₀	Porównywalne odległości, uwzględnianie 4 części bieżni (2 wiraże + 2 proste) – opuszczenie części H₅₋₆
4)	H ₁₋₃	H ₃₋₅	H ₅₋₇	H ₈₋₁₀	Opuszczenie części H ₇₋₈
5)	H ₁₋₃	H ₃₋₅	H ₅₋₈	H ₈₋₁₀	Jw.; jednak trzecia odległość wydłużona
6)	H ₁₋₃	H ₄₋₆	H ₆₋₈	H ₈₋₁₀	Analiza tylko odstępów 3-płotkowych
7)	H ₁₋₃	H ₃₋₅	H ₅₋₇	H ₇₋₉	Rezygnacja z ostatniej jednostki rytmicznej
8)	H ₀₋₃	H ₃₋₆	H ₆₋₉	H _{9-G}	Ostatnie odległość skrócona
9)	H ₀₋₂	H ₂₋₆	H ₆₋₈	H _{8-G}	Przedłużona prosta 1
10)	H ₀₋₃	H ₃₋₅	H ₅₋₉	H _{9-G}	Przedłużony drugi wiraż
11.	H ₀₋₂	H ₂₋₅	H ₅₋₈	H _{8-G}	=80/105/105/110 m.
12)	I. 100 m	II. 100 m	III. 100 m	IV. 100 m	Uwzględnienie równych części dystansu, jednakże – różne uwarunkowania (krzywizny biegu, liczba płotków) – patrz „parametry szacowane”

* – w pracy uwzględniono tą wersję

** – korelacja $t_{5-6}/t_{6-7} =$, $t_{4-5}/t_{5-6} =$

– skośna czcionka – uwzględnienie i więcej JP

Problemem wydaje się pominięcie JP5-6 (patrz analiza korelacji)

Optymalny wybór - H₁₋₃/H₃₋₅/H₆₋₈/H₈₋₁₀

Podział na 3 części biegu

Podążając za metrycznym podziałem dystansu spróbowano wyodrębnić trzy różne części - 1/3 biegu, czyli 3 x 133,33 m. Analiza wykazała, że bardziej praktycznym jest wykorzystanie klasycznego podziału na 3 części, z wyłączeniem dobiegu oraz 40 m finiszu. W tabeli 2.3.7. podano warianty podziału dystansu na 3 części.

Tabela 2.3.7.

Parametry 1/3 dystansu

Wariant	Część dystansu			Charakterystyka
	I	II	III	
1)	H ₀₋₃	H ₃₋₈	H _{8-F}	Nierówne odcinki uwzględniające wiraż, prostą + wiraż (II) oraz prostą II. H ₀₋₃ - 1 wiraż, H _{8-G} - druga prosta
2)	H ₀₋₄	H ₄₋₈ **	H _{8-F}	Z uwzględnieniem dobiegu i wybiegu; ta sama liczba jednostek rytmicznych. H ₀₋₄ - przedłużony pierwszy wiraż, H ₄₋₈ - przedłużony 2 wiraż.
3)	H ₀₋₄	H ₄₋₇	H _{7-G}	Nierówne odcinki
4)	H₁₋₄	H₄₋₇	H₇₋₁₀	Najlepszy wybór - cały dystans podzielony na 3.
5)	H ₁₋₃ *	H ₄₋₆ *	H ₇₋₉ *	Wybrane 3 fragmenty biegu. H ₄₋₆ - „wejście” w wiraż
6)	H ₁₋₃ *	H ₅₋₇ *	H ₇₋₉ *	Wybrane 3 fragmenty biegu. H ₇₋₉ - „wyjście” z wirażu
7)	H ₀₋₃	H ₃₋₆	H _{6-F}	Odpowiednio: 115/105/180 - wg fizjologii wysiłku
8)***	I/133,3 m	II/133,3 m	III/133,3 m	Podział sztuczny, na potrzeby analizy naukowej

*-uwzględnienie tylko 2. JP, **- uwzględniono 4 JP, ***- $T_{133m} = T_{0-4} - 0,476 \cdot t_{3-4}$, $-T_{266m} = T_{0-7} - 0,333 \cdot t_{6-7}$, $-T_{III133m} = T_{400H} - T_{266m}$

Inne warianty:

- H₂₋₅ (przedłużona 1. prosta)
- H₃₋₆ - (1. prosta + 1. wiraż)
- H₆₋₉ - (2. wiraż + 2. prosta)
- H₅₋₈ - 2. wiraż,
- H₈₋₁₀ - 2. prosta.

Optymalny wybór – H₁₋₄/H₄₋₇/H₇₋₁₀

Podział na 2 części biegu

Najczęściej wykorzystywanym podziałem „metrycznym” dotyczy „połówek” dystansu – I_{200m} + II_{200m} (.....). Podział 200 + 200 jest często rekompenzowany innymi wariantami (tabele 2.3.8–2.3.9.).

Tabela 2.3.8.

Dwie części biegu – połówki”

1. część	2. część	Charakterystyka
1) H ₀₋₅	H _{5-F}	Z uwzględnieniem dobiegu i wybiegu.
2) H ₁₋₅	H ₅₋₁₀	Nierówne części dystansu (4 versus 5 jednostek rytmicznych).
3) H ₁₋₆	H ₅₋₁₀	Jedna jednostka jest wspólna.
4) H₁₋₅	H₆₋₁₀	Najlepszy wybór z opuszczeniem środkowej jednostki rytmicznej.
5) H ₀₋₆	H _{6-F}	Dystanse różne (220/180 m), ale czas porównywalny. H ₀₋₆ – przedłużona pierwsza część dystansu, H _{6-meta} – skrócona druga część dystansu.
5) I 200H	II 200H	Trudności z pomiarem; I 200H (5pł + 15 m) – równe odcinki ale brak możliwości analizy liczby kroków – patrz parametry szacowane

Także:

- H₅₋₉ – pełny drugi wiraż i pierwsza część drugiej prostej,
- H₆₋₉ – „zaawansowany” drugi wiraż i pierwsza część drugiej prostej

Optymalny wybór – H₁₋₅/H₆₋₁₀

Inna prezentacja dwóch części dystansu.

Tabela 2.3.9.

Dwie części dystansu – różne koncepcje metodologiczne i 8 rozwiązań

Płotki	I	II	III	IV	V	200 m	VI	VII	VIII	IX	X	F	Uwagi	
I	H _I 200H						H _{II} 200H						1	
	H ₁₋₅						H ₆₋₁₀						2	
II	H ₀₋₅					H _{6-F}								3
	H ₀₋₆					H _{5-F}								4
III	H ₀₋₆						H _{6-F}						5	
	H ₀₋₅					H _{5-F}								6
IV	H ₁₋₅					H ₅₋₁₀								7
	H ₁₋₆					H ₅₋₁₀								8

Wariant I. Równe części dystansu. Wariant II. Niewielkie różnice (5 m). Wariant III. Znaczne różnice (30–40 m). Wariant IV. Inne rozwiązania.

Uwagi:

1. Równe odcinki, przy braku możliwości analizy liczby kroków. Trudności z pomiarem czasu biegu ($1200H = t_{5pl} + t$ następnych 15 m). W pierwszej części uwzględniamy odcinek startowy, w drugiej odcinek finiszowy.

2. Optymalny wybór – przy równych odcinkach (po 4 JR) uwzględniamy wyłącznie bieg przez płotki. Wadą tego rozwiązania jest pominięcia odcinka między 5. a 6. płotkiem. Usprawiedliwieniem dla przyjęcia tej koncepcji jest wysoki współczynnik korelacji między t_{5-6} a t_{6-7}

3. W obydwu przypadkach uwzględniamy skrajne odcinki pokonywane bez płotków (dobieg i wybieg). Brak możliwości porównań czasowych (różnica 5 m) przy możliwości oceny parametrów przestrzennych. Pominięcie odcinka między 5. a 6. płotkiem.

4. Podobnie jak powyżej, różnice odległości 5 m. W obydwu częściach nakładają się odległości między 5. a 6. płotkiem. Wobec powyższego możliwa jest analiza 5. jednostek rytmicznych.

5. Dystanse wyraźnie różne (220/180 m), jednakże czas pokonywania dwóch odcinków porównywalny. H_{0-6} to przedłużona pierwsza część dystansu, H_{6-F} to skrócona druga część biegu.

6. Nierówne odcinki (185/215 m) z uwzględnieniem dobiegu i wybiegu.

7. Nierówne części dystansu wyłącznie między plotkami (4v5 jednostek rytmicznych; 140/175 m)

8. Podobne odległości między plotkami (po 5 jednostek plotkarskich) przy jednej, wspólnej (5–6 plotek).

Mając na względzie wybór najlepszego wariantu podziału, często stosuje się wymiennie odcinki dodawane (w różnym układzie) oraz podział metryczny oparty na szacowaniu wyłącznie czasu biegu. W tabelach XXXX podano różne warianty w obrębie $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$ oraz $\frac{1}{2}$ dystansu. W dalszej części pracy dokonano dalszej selekcji zmiennych.

C. Podział dystansu uwzględniający ukształtowanie bieżni. **(Kryterium strukturalne/geometryczne)**

Bieg przez płotki na dystansie 400 m wymaga pokonywania przeszkód na prostej (łatwiej) oraz biegnąc po wirażu (znacznie trudniej). Z punktu widzenia trudności technicznych, newralgiczne części dystansu to przejście biegu po prostej w wiraż lub (odwrotnie) z wirażu na prostą (Iskra 2012b). Mając na względzie powyższe informacje dystans 400 m przez plotki można podzielić ze względu na udział biegu po prostej i po wirażu (tabela 2.3.10).

Tabela 2.3.10.

Części dystansu w zależności od ukształtowania bieżni

Część dystansu	1. wiraż	1. wiraż + 1. prosta	1. prosta	1. prosta +2. wiraż	2. wiraż	2. wiraż + 2. prosta	2. prosta
1JP	h0-1 h1-2	h2-3	h3-4 h4-5	h5-6	(h5-6*) h6-7 h7-8	h8-9	h9-10 h10-F
2JP	H1-3	H2-4	H3-5	H4-6	H5-7 H6-8	H7-9	H8-10 H9-F
3JP		H1-4	H2-5	H3-6 H4-7	H5-8	H6-9	H7-10 H8-F
4JP		H1-5 H2-6		H3-7 H4-8		H5-9 H6-10	H7-F
5JP		H1-6		H2-7 H3-8	H4-9	H5-10 H6-F	
6JP		H1-7		H2-8		H3-9 H4-10 H5-F	

* - (6-9) tory zewnętrzne, **H0-2 - optymalne wybory****Tabela 2.3.11.**

Podział dystansu 400 m H z uwzględnieniem przepisów, techniki pokonywania płotków oraz fizjologii wysiłku

Podział	Warianty					
1. Cały dystans	0-F 1-10					
2. Pierwszy wiraż (0-1)	0-2 (=T2)	1-3	1-2			
3. Pierwszy wiraż + pierwsza prosta (=połówka nr 1)	0-5 (=T5)			1-5	1-4	0-6 (=T6)
4. Pierwsza prosta		3-5	3-6			
5. Pierwsza prosta + drugi wiraż						
6. Drugi wiraż		5-7	6-8		4-7	
7. Drugi wiraż + druga prosta	5-F 5-10			6-10		6-F
8. Druga prosta			8-10		7-10	8-F
9. Dobieg + Wybieg			0-1 (=T1)	10-F		

Tabela 2.3.12.

Części dystansu 400 m przez płotki (inny wariant)

Podział	Odległości (m)	Wariant		
		Podstawowy	Dodatkowy	Inne
1. Cały dystans	0-400	400H	1-10H	-0-9H (400H bez ostatnich 75m), -2-F (400H bez pierwszych 80 m) -3-9H - „główny” dystans płotkarski

2. „Połówki” dystansu	200/200	-1-5H/6-10H	-0-5H/5-FH -0-6H/6-FH	
3. Dobieg	0-45	-0-1h		
4. Pierwszy wiraż	0-100	-I100H (szacunkowo) -0-2h	-1-2h -1-3H	
5. Pierwszy wiraż i pierwsza prosta	0-200	-1-4H	-1-5H -0-6H	-2-6H (prosta i „wejście” w wiraż)
6. Pierwsza prosta	100-200	-II100H (szacunkowo) -3-5H (klasyczna prosta)	-3-6H (przełużona prosta)	-2-4H (tylko „czysta” prosta)
7. Pierwsza prosta i drugi wiraż	100-300	-4-7H		-2-8H (I prosta i II wiraż) -3-7H (I prosta i część II. wirażu) --5-7H („wejście” w II. wiraż)
8. Drugi wiraż	200-300	-III100H (szacunkowo) -6-8H	-5-7H	
9. Drugi wiraż i druga prosta	200-400	-5-F -5-10H	-6-10H -6-F	-5-9H (pełny II. wiraż i I. część II. prostej) -6-9H (druga część II. wirażu i pierwsza część II. prostej)
10. Druga prosta	300-400	-IV100H (szacunkowo)-8-10H	-7-10H -8-F	
11. Wybieg	360-400	-10-F		

Inne fragmenty biegu – rzadko wykorzystywane w analizie strategii biegu

- H₁₋₉ – główny dystans płotkarski (1), bez ostatnich 75 m,
- H₂₋₁₀ – główny dystans płotkarski (2), bez pierwszych 80 m,
- H₂₋₄ – tylko „czysta” prosta,
- H₂₋₆ – prosta i „wejście w wiraż”,
- H₂₋₈ – prosta (1) i wiraż (2),
- H₃₋₇ – prosta (1) i część wirażu (2),
- H₃₋₉ – główny dystans płotkarski (3),
- H₅₋₇ – „wejście” w drugi wiraż,
- H₅₋₉ – pełny drugi wiraż i pierwsza część prostej,
- H₆₋₉ – druga część wirażu i pierwsza część prostej.

D. Podział wynikający z organizacji treningu

Próby podziału dystansu dostosowanego do przyjętej organizacji treningu płotkarzy podejmowane są od dawna. (szczegóły patrz – Iskra 2012b, 2014c).

Przyjmują za podstawę podział środków treningowych Iskra dzieli dystans 400 m przez płotki w sposób następujący:

Podział dystansu 400 m przez płotki pojmowany jest często jako odnośnik do fizjologii wysiłku. Znany trener Brant McFarlane (2004) proponuje następujący podział:

- płotki 1-3 – wytrzymałość szybkościowa (=pojemność niekwasomlekowa),
- płotki 4-8 – wytrzymałość specjalna 1 (= moc beztlenowa),
- płotki 8-10 – wytrzymałość specjalna 2 (= pojemność kwasomlekowa).

McFarlane (2004, s. 67) nie uwzględnia szybkości motorycznej, akcentując moc o charakterze beztlenowym w fazie „wejścia w wiraż” i pokonywanie drugiego dystansu.

W pracy *“The phases of a 400 meter hurdle”* (www.hurdlesfirstbeta.com) znany szkoleniowiec Steve McGill (2020) wydzieliła 5 faz biegu na 400 m przez płotki:

1. Płotki 1-2 – to jedyny fragment z ustabilizowanym tempem (czas) i rytmem (=liczba kroków) biegu. Jeżeli w tej części przesadzimy z wydatkowaniem energii, finisz biegu może być „dramatyczny”.
2. Płotki 3-5 – rytm biegu stabilizuje się. Należy realizować swój plan biegu, nie reagując na poczynania rywali (*“stay relax”*).
3. Płotki 6-8 – to najtrudniejsza technicznie część dystansu, w której komplikacji dodaje krzywizna bieżni I nieoczekiwane podmuchy wiatru.
4. Płotki 9-10 – to najtrudniejszy motorycznie fragment biegu, w którym pomimo bólu fizycznego I znacznego zmęczenia należy zachować relaks w pokonywaniu płotków I (co ważne) utrzymywać prosty kierunek biegu.
5. Płotek 10 i finisz biegu.

We wcześniejszych pracach autora (Iskra 1993-2018) przeprowadzono wiele prób trafnego (przede wszystkim z treningowego punktu widzenia) podziału dystansu 400 m przez płotki. Oto najbardziej przekonujący podział:

- przyspieszenie płotkarskie (także „szybkość płotkarska”) – pierwsza prosta,
- wytrzymałość rytmowa krótka (= „stabilizacja”) – pierwsza prosta,
- wytrzymałość rytmowa średnia (= „przełamanie”) – drugi wiraż,
- wytrzymałość rytmowa długa (także „wytrzymałość płotkarska”) – finiszowa prosta.

Tabela 2.3.13.

Części dystansu 400 m przez płotki – precyzyjne wariant szkoleniowy

Lp.	Odcinek(m)	Płotki	Nazwa*	Charakterystyka
1.	0-45	S-1	Przyspieszenie płotkarskie (<i>hurdle acceleration</i>)	Umiejętność łączenia typowego przyspieszenia sprinterskiego z koniecznością atakowania płotka właściwą nogą.
2.	45-115	1-3	„Szybkość” płotkarska (<i>hurdle speed</i>)	Fragment uzyskania największej prędkości na dystansie. Rytm kroków ustalony, realizowany na poziomie „wyjścia z wirażu”.
3.	115-185	3-5	Technika płotkarska (<i>hurdle technique</i>)	Bieg po prostej (duże ułatwienie techniczne) i stopniowe obniżanie prędkości.
4.	185-290	5-8	„Rytm” płotkarski (<i>hurdle rhythm</i>)	Najtrudniejszy technicznie fragment biegu – (1) bieg po wirażu, (2) zmiany rytmu kroków, (3) znaczne zmęczenie.
5.	290-360	8-10	Wytrzymałość płotkarska (<i>hurdle endurance</i>)	Najtrudniejszy motorycznie fragment biegu – (1) znaczne zmęczenie o charakterze glikolitycznym, (2) ostatnie, finiszowe płotki, (3) często nieprzewidywalne zmiany rytmu kroków.
6.	360-400	10-F	Wytrzymałość beztlenowa (<i>anaerobic endurance</i>)	Test wydolności o charakterze beztlenowej.

*przyjęto nazewnictwo powiązane ze szkoleniem płotkarzy

Piśmiennictwo*

Boczwarow 1985

Greene 2008

Greene i wsp. 2008

Iskra 2012b, 2014c

Letzelter M. i Letzelter H. 1978

McFarlane 2004

McGill 2020

Quinn 2010.

*szczegóły identyfikacji źródła podano na końcu pracy

2.4. Podział zmiennych

Poszukiwania w obszarze szeroko pojętej strategii biegu na dystansie 400 m przez płotki wymaga wykorzystania wielu zmiennych (parametrów). W pracy wykorzystano najważniejsze z nich.

Optymalna taktyka każdego biegu (płaskiego) uwzględnia parametry czasowe, podzielone na poszczególne jego fragmenty. Dodatkowo analizy przebiegu rywalizacji w biegach od 100 m do maratonu w analizie empirycznej wykorzystywane są zmienne identyfikujące (podstawowe) i parametry „przepisowe” (= tory rywalizacji).

W analizie strategii biegu na 400 m przez płotki uwzględniono wiele grup zmiennych, penetrujących zagadnienie z wielu punktów widzenia.

Wzorując się na dotychczasowym piśmiennictwie a także proponując autorskie przemyślenia (trenerskie i naukowe) w pracy kompilacyjnej wykorzystano następujące grupy parametrów(zmiennych).

1. **Zmienne zależne** – czas biegu na 400 m przez płotki (T400H), a także (częściowo) biegu wyłącznie między płotkami (TH1-10).
2. **Zmienne identyfikacyjne (podstawowe)** – w tej grupie parametrów uwzględniono 4 elementy: parametry budowy ciała (2a), wiek mistrzostwa sportowego (2b), zmienne sprawnościowe (2c), i parametry przygotowania technicznego (2d).
3. **Zmienne podstawowe** – parametry czasowe (*“split times”*) i przestrzenne (*“stride pattern”*) w obrębie jednej jednostki płotkarskiej. Wyjątkowo, dla podstawowych części dystansu (1JP), parametry czasowe i przestrzenne przedstawiono razem.
4. **Zmienne czasowe** (określone jako „tempo” biegu) to czasy kolejnych części biegu lub (rzadziej) prędkości pokonania tych fragmentów. To najbardziej rozbudowana grupa zmiennych. W związku z obszerną grupą parametrów czasowych ten obszar zmiennych przedstawiono poniżej.
5. **Zmienne przestrzenne** (określane jako „rytm” biegu) to liczba kroków wykonywanych w kolejnych (9) odległościach między płotkami. Te zmienne zostały także opisane w kolejnych częściach pracy.
6. **Zmienne czasowo-przestrzenne (pośrednie)** w niektórych pracach (Letzelter M. 1973, Boczarow 1985) autorzy poszukują powiązań między ww. parametrami wprowadzając „częstotliwości kroków” (*„stride frequency”*) Próby te ze względu niezbyt precyzyjne definicje kroku (= łączenie kroku biegowego i kroku płotkowego) nie były później kontynuowane.
7. **Zmienne rytmowe**
8. **Zmienne lateralizacji (L-P)**
9. **Zmienne strategiczne**
10. **Zmienne regulaminowe**

W pracy nie uwzględniano zmiennych, które z pewnością mają pośredni wpływ na końcowy wynik (siła i kierunek wiatru, miejsce startu n.p.m. – Quinn 2010, Hollings i wsp. 2012). W tabeli 2.4.1. przedstawiono szczegółowy podział zmiennych (parametrów) wykorzystywanych w ocenie strategii biegu na 400 m przez płotki przedstawionej w tej książce.

Tabela 2.4.1.
Wybór parametrów w ocenie strategii biegu na 400 m przez płotki – podział szczegółowy

Podział parametrów	Charakterystyka	Skrót
1. Zmienne podstawowe (niezależne)		
1. Zmienne zależne i grupujące	Czas biegu na 400 m przez płotki (= wynik końcowy)	T _{400H}
	Czas biegu na dystansie między płotkami	Także: T ₁₋₁₀
2. Zmienne identyfikacyjne		
(2.1). Budowa ciała		
2a. Budowa ciała	Wysokość ciała	BH
	Masa ciała	BW
	Wskaźnik BMI	BMI
(2.2). Kariera sportowa		
2b. Kariera sportowa	Wiek	Wiek
	Wiek inicjacji płotkarskiej	Wiek(I)
	Wynik inicjacji płotkarskiej	Wynik(I)
	Długość kariery sportowej	Staż
(2.3) Przygotowanie srawnościowe		
2c. Przygotowanie srawnościowe	Czas biegu na 400 m	PB400mH, PB400
	Wyniki w innych konkurencjach	Także: T _{100m} , T _{200m} , T _{110 mH}
(2.4) Przygotowanie techniczne		
2d. Przygotowanie techniczne	Wskaźnik poziomu techniki (I) – T400H-T400	TI _I
	Wskaźnik poziomu techniki (II) – T400H/T400	TI _{II}

3. Zmienne podstawowe (czasowe i przestrzenne)		
3a. Czasowe	Czasy kolejnych jednostkach płotkarskich t_1, t_2, \dots, t_{10}	
3b. Przestrzenne	Liczba kroków w kolejnych jednostkach płotkarskich n_1, n_2, \dots, n_{10}	
4. Zmienne czasowe		
4a. Podstawowe (częściowo jak 3a)	Najmniejsze odcinki – 11 części (dobieg + 9 HJ + wybieg)	
4b. Podstawowe (2)	Wybrane odcinki – największe/najwolniejsze - przed i po zmianie rytmu	
4c. Dodawane:	2JP(90m) – parametry podwójne, 3JP(125m) – parametry potrójne („ćwiartki”) 4JP(150m) – 4 jednostki płotkarskie („1/3”) 5JP(185m) - 5 jednostek płotkarskich („połówki”) 6JP (220 m) – 6 jednostek płotkarskich	
4d. Szacowane	Podział na odcinki 100 m („ćwiartki”), 133,33 m („1/3”), 200 m („połówki”): $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$.	
4e. Przeliczniki prędkościowe	Ułatwienia w analizie wykresów V_{0-1}, \dots, V_{10-F} V_{1-3}, \dots V_{1-4}, \dots V_{1-5}, \dots V_{1200H}, II_{200H}	
4f. Międzyczasy	Klasyczne	Klasyczne – rytmowe t_{0-1}, T_{0-2}, \dots t_{1-2}, T_{1-3}, \dots
	“Od końca”	“Od końca” – rytmowe t_{0-F}, T_{F-9}, \dots $t_{10-9}, T_{10-8}, \dots$

4g. Różnice	Podstawowe – bezwzględne	$t_{2-3}-t_{1-2}, \dots$
	Podstawowe (2) – bezwzględne	$t_{\text{worsz}}-t_{\text{best}}, \dots$
	Dodawane – bezwzględne	$T_{3-5}-T_{1-3}, \dots$
	Podstawowe – procentowe	$t_{2-3}-t_{1-2}/t_{1-2} \times 100$
	Podstawowe (2) – procentowe	$t_{\text{worsz}}-t_{\text{best}}/t_{\text{best}} \times 100$
	Dodawane – procentowe	$T_{3-5}-T_{1-3}/T_{1-3} \times 100$
4h. Proporcje procentowe	Proporcje podstawowych części dystansu: -2JP (6), -3JP (3), 4JP (1).	$T1-3/T3-5 \times 100$ (x6) $T1-4/T4-7 \times 100$ (x3) $T1-5/T6-10 \times 100$ (1)
4i. Zmienne statystyczne		
4j. Przeliczniki procentowe (%)	4j-I. Wskaźniki procentowe Konieczne w analizie dymorficznej. Ułatwiają analizę trendów. Uwzględniono: - wartości podstawowe – (w sumie 11 zmiennych), - wartości parcjalne: 2JP, 3JP, 4JP. - podstawowe części dystansu – 2x200 m ppł Czasowy udział wybranych odcinków w ostatecznym wyniku: -2JP (6), -3JP (3), 4JP (2).	$\%_{0-1}, \dots, \%_{10-F}$ $\%_{1-3}, \dots,$ $\%_{1-4}, \dots,$ $\%_{1-5}, \dots$ $\%_{I_{200H}}, II_{200H}$ $T1-3\%400H$ (x6) $T1-4\%1-10H$ (x3) $T1-5\%1-10H$ (x2)
4k. Wskaźniki dystansowe (%400H)		

4l. Wskaźniki rytmowe (%1-10H)	Czasowy udział 9. JP w czasie biegu między płótkami:	T1-3%1-10H (x4) T1-4%1-10H (x3) T1-5%1-10H (x2)
5. Zmienne przestrzenne		
5a. Podstawowe	Liczba kroków wykonywanych w 9JP (+dobieg + wybieg) (9 + 2 = 11)	n1-2, n2-3, ... (x9) + n0-1 oraz n10-F (x2)
5b. Dodawane	Liczba kroków wykonywanych w kolejnych częściach biegu (9): 2JP (4), 3JP (3), 4JP (2).	N1-3, N3-5 ... N1-4, ... N1-5 ...
5c. „Międzykroki”		
5c. „Międzykroki”	Liczba kroków wykonywanych w kolejno dodawanych JP (9)	n1-2, N1-3, N1-4, ...
5d-f. Różnice i proporcje kroków		
5d. Różnice kroków	Różnice liczby kroków w wybranych częściach dystansu (10): -2JP (6), -3JP (3), -4JP (1)	N3-5-N1-3, ... N4-7-N1-4, ... N6-10-N1-5 ...
5e. Proporcje kroków (podstawowe)	Proporcje liczby kroków w wybranych częściach dystansu (10): -2JP (6), -3JP (3), -4JP (1)	N3-5/N1-3, ... N4-7/N1-4, ... N6-10/N1-5

5f. Proporcja rytmowe (bezwzględne)	Proporcje liczby kroków w wybranej części dystansu w stosunku do całego dystansu między płotkami (3)	N1-4/N1-10,...
5g. Proporcje rytmowe (procentowe)	Proporcje liczby kroków w wybranych częściach dystansu wyrażone w wartościach procentowych (9): -2JP (4), -3JP (3), -4JP (2).	N1-3/N1-10*100%,... N1-4/N1-10*100%,... N1-5/N1-10*100%
5h. Zmienne statystyczne	Uśrednione dane liczby kroków	xN1-10, N1-5,...
6. Zmienne pośrednie (czasowo-przestrzenne)		
6a. Częstotliwość kroków	Częstotliwość kroków w wybranych częściach dystansu (4)	F1-4, ...
6b. Długość kroków	Długość kroków w wybranych częściach dystansu (4)	L1-4,...
7. Zmienne rytmowe		
7a. Liczba kroków	Liczba kroków między kolejnymi JP (12-17)	12, 13,....17
7b. Liczba zmian rytmu	Liczba zmian liczby kroków (0-4)	0, 1, 2, 3
7c. Miejsce zmian rytmu	Jednostka płotkarska w której następuje zmiana liczby kroków (8)	PH2-3, PH3-4,...
7d. Typ rytmu	Wybór 13 typów rytmu	1-13
8. Zmienne lateralizacji		
8a. Kończyna dominująca	Wybór kończyny atakującej 10 płotków	Lewa lub prawa
8b. % kroków nieparzystych i parzystych		%P i N (Odd i Even)

8c. Proporcje	L/P (brak możliwości oceny 10/0)	
8d. Wskaźniki	Wskaźnik Mekoty Wskaźnik Williamsa	
9. Zmienne strategiczne		
Pozycje po każdym płotku	Pozycje zajmowane po pokonaniu kolejnego płotka	P1, P2, ...P400H
10. Zmienne regulaminowe		
Tor biegu (1-8/9)	Bieg po torach wewnętrznych (1-3) i zewnętrznych (6-8/9)	R1-R8 (9)

Wybór zmiennych (parametrów) determinujących strategię biegu na 400 m przez płotki posiada wieloletnią i wielopoziomową tradycję.

Obszerną (historyczną i naukową) analizę parametrów biegu na 400 m przez płotki (wyłącznie mężczyzn) przeprowadzili autorzy podręcznika „*Leichtathletik*” – Strüdel i wsp. (2012):

- prędkości biegu 11. części dystansu,
- warianty liczby kroków (z uwzględnieniem podziału grup wg liczby kroków dobiegu),
- oryginalny Indeks Techniki (= *Technikindex*),
- różnice czasu pierwszej i drugiej części dystansu,
- rekordowe wyniki na 200 i 400 m (bez płotków),
- czasy poszczególnych jednostek płotkarskich i międzyczasy z Mistrzostw Świata z 2009 r.

Podstawowe zmienne strategii biegu na 400 m przez płotki

Wszystkie analizy strategii biegu na 400 m przez płotki opierają się na podstawowych zmiennych, obejmujących 9 odcinków między płotkami (1JP, 35 m dystansu) a także odległość od startu do pierwszego płotka (h_{0-1} , 45 m) oraz od ostatniego płotka do mety (h_{10-F}). Odległości te wykorzystywane są zarówno w analizie czasu biegu (t_{0-1} , ... t_{10-F}) jak i w ocenie liczby wykonywanych kroków (n_{0-1} , ... n_{10-F}).

Każda z wymienionych, podstawowych części biegu ma swoje charakterystyczne znaczenie w strategii biegu na dystansie. Każda też część ma określenie treningowe, ułatwiające identyfikację celów szkoleniowych. W tabeli 2.4.2. podano podstawowe części dystansu 400 m przez płotki. Każda z części podstawowych została skonfrontowana z charakterystyczną częścią szkolenia plotkarzy.

Tabela 2.4.2.

Zmienne podstawowe (czasowe i przestrzenne)

Zmienna	Zmienna czasowa ¹	Zmienna przestrzenna ²	Część dystansu (m)			Nomenklatura treningowa
			JP	Część	P/W ³	
h₀₋₁	t₀₋₁	n₀₋₁	45	0-45*	1W	1. Przyspieszenie biegowe (startowe)
h₁₋₂	t₁₋₂	n₁₋₂	35	45-80**	1W	2. Przyspieszenie płotkarskie lub „ <i>Transition</i> ” ^A szybkościowe
h₂₋₃	t₂₋₃	n₂₋₃	35	80-115	1W+1P	3. Szybkość płotkarska

h₃₋₄	t₃₋₄	n₃₋₄	35	115-150	1P	4. Technika płotkarska lub Technika płotkarska I
h₄₋₅	t₄₋₅	n₄₋₅	35	150-185	1P	5. „Transition techniczne” lub Techniczne „steady state”
h₅₋₆	t₅₋₆	n₅₋₆	35	185-220	1P+2W	6. „Transition rytmowe”(1)
h₆₋₇	t₆₋₇	n₆₋₇	35	220-255	2W	7. Rytm płotkarski lub Technika płotkarska II
h₇₋₈	t₇₋₈	n₇₋₈	35	255-290	2W	8. „Transition rytmowe”(2)
h₈₋₉	t₈₋₉	n₈₋₉	35	290-325	2W+2P	9. Wytrzymałość rytmowa lub „Transition wysiłkowe”
h₉₋₁₀	t₉₋₁₀	n₉₋₁₀	35	325-360	2P	10. Przygotowanie do finiszu lub Wytrzymałość płotkarska
h_{10-f}	t_{10-f}	n_{10-f}	40	360-400***	2P	11. Wytrzymałość anaerobowa
Podstawowe elementy (wybrane)						
	t_{best}	min n	35		1W-1P	„Szybkość” płotkarska
	t_{worst}	max n	35		2P	„Wytrzymałość” płotkarska

A – „transition” – ang. – przejście, zmiana. W realiach biegu przez płotki to miejsce znaczących zmian parametrów czasowych i przestrzennych w trakcie pokonywania kolejnych płotków

¹ – czas pokonywania kolejnych „jednostek płotkarskich” (JP)

² – liczba kroków wykonywanych w kolejnych JP (bez uwzględnienia tzw. „kroku płotkowego”)

³ – bieg po prostej lub po wirażu

*Odległość między startem a pierwszym płotkiem (= „dobieg”)

**Kolejne (9) odległości między płotkami

***Odległość między ostatnim płotkiem a linią mety (= „wybieg”)

Uwagi:

W związku z wieloma anglojęzycznymi odnośnikami w piśmiennictwie (także internetowym) najważniejsze definicje uzupełniono o zwroty anglojęzyczne.

Parametry podstawowe (pojedyncze) to jedna jednostka płotkarska (JP)

*1. Dobieg do pierwszego płotka („approach phase”). W niektórych analizach uwzględnia się także reakcję startową („reaction times/RT”)

2. Określenie „jednostka płotkarska” (JP) oznacza kolejne 9 odległości między płotkami („single/basic unit” także „hurdle units”), ściślej między „zejściem” z płotka poprzedzającego a „zejściem” z płotka następnego. 1JR stanowi wstęp do wszystkich analiz czasowych w biegu na 400 m przez płotki. W niektórych źródłach ten podstawowy odcinek biegu określany jest jako „jednostka rytmowa” nawiązując do określenia treningowego („rytm” biegu („rhythmic units”).

3. Wybieg do linii mety („run-in phase”) często określa się mianem finiszu, („finish”, co wydaje się mniej precyzyjne.

***W – wiraż, P – prosta; w zależności od toru biegnącego (tory zewnętrzne - 9/9) mogą nastąpić niewielkie zmiany ww. układu bieżni*

**** - nazewnictwo częściowo przyjęte przez autora.*

Grubą czcionką zaznaczono 20 podstawowych parametrów czasowych (czas JP) i przestrzennych (liczba kroków) wykorzystywanych w pracy w różnych wariantach.

Piśmiennictwo

Boczwarow 1985

Letzelter M. 1973

Strüdel i wsp. 2012

Zmienne czasowe – podstawowy element strategii biegu na 400 m przez płotki

Wprowadzenie

Bieg na 400 m przez płotki (= 400mH) to wbrew pozorom jedna z najmłodszych konkurencji w męskiej lekkoatletyce. Pomimo, iż już w 1860 roku na *Oxford University Sports* przeprowadzono „*quarte-mile race*” z 12 płotkami, trzeba było ponad pół wieku, zanim dystans w biegu na jedno okrążenie przez płotki pojawił się w czołowych krajach w lekkoatletyce tego okresu. W 1914 r. w czasie mistrzostw krajowych w Wielkiej, USA i w Szwecji po raz pierwszy przeprowadzono bieg na 400 m H.

Według Quercetanego (2009) bieg na 400 m H lub 440 y H ma względnie krótką historię dlatego, iż był pierwotnie uważany za „niekomfortowy” (jako bieg przez płotki) i „męczący” (jako bieg sprinterski), dlatego też jego pierwotna charakterystyka brzmiała „*the man-killer event*”. Aby dodać atmosfery poważanej próby sportowej, pokonanie ostatniego płotka oceniano jako „*Heartbreak hill*” (Quercetani 2009, s. 34).

Klasyczne początki akceptacji tej konkurencji sięgają roku 1908, kiedy to na igrzyskach w Londynie po raz pierwszy rozegrano bieg na 400 m przez płotki, które to wtedy miały tylko 76 cm wysokości (Wallechinsky i Loucky 2012). Dla Brytyjczyków (i nie tylko) konkurencja wydawała się tak nielekkoatletyczna, że usunięto ją z programu następnych Igrzysk w Sztokholmie i wprowadzono powtórnie dopiero w 1920 roku.

Dopiero wtedy ustalono przepisową wysokość płotka (91 cm), pozostawiając dowolność w odległościach między płotkami. Anglosasi pozostawiali przy swoich 40 y (= 36,57 m), Europejczycy z Kontynentu akceptowali 35 m (Quercetani 2009, s. 31).

Pierwsze próby czasowej analizy (= taktyki lub strategii) biegu na 400 m przez płotki miały miejsce w latach 50. XX wieku. W czasie Igrzysk Olimpijskich w Melbourne w 1956 roku rywalizujący ze sobą Amerykanie „Eddie” Southern i Gleen Davis przyjęli odmienną taktykę. Southern rozpoczął bardzo szybko (I 200 m H – 22,5 s) wyprzedzając Davisa o 0,2 s (I200 m H – 22,7 s). Końcówka należała jednak do Davisa, który zwyciężył w czasie 50,1 s (Southern – 50,8 s) – Hymans (1999).

W 1960 r. Cooper opracował swoistą monografię treningu w biegu na 400 m przez płotki, której częścią był rozdział „*Tactics employed in quarter-mile hurdling*” (=Praktyczna taktyka w biegu na 400 m ppł”). Temat ten potraktowano wielokierunkowo i na wskroś nowocześnie, uwzględniając min. Wykorzystanie nogi atakującej, „rytm kroków” (=“*stride pattern*”) i tempo biegu. Ten ostatni element określono na postawie intensywności wysiłku. W tym zakresie dystans 400 m (440 y) przez płotki podzielono na 100-metrowe części:

- 0–100 m – intensywność 90%,
- 100–200 m – intensywność 75%,
- 200–300 m – „stopniowy wzrost wysiłku”,
- 300–400 m – pełny wysiłek (= „full effort”).

Pierwsze analizy dotyczyły porównywania pierwszej (I200m H) i drugiej (II200m H) części dystansu (tzw. „split times at the half-way-mark”) lub (krócej), „intermediates”.

W 1953 roku w Budapeszcie, na meczu Węgry – ZSRR Jurij Litujew, 19-letni ze Związku Radzieckiego pobił rekord świata, biegnąc poszczególne „połówki” w 23,5 i 26,9 s (= 50,4 s) – Hymans 2020. Wg dzisiejszych standardów to duża strata.

W latach 60. XX wieku zorientowano się, że analiza struktury czasowej biegu na 400 m przez płotki może mieć istotne znaczenie w optymalizacji procesu treningowego. Od tego okresu rozpoczął się proces dokumentacji czasowej biegaczy, z uwzględnieniem czasu pokonywania kolejnych płotków. Sadowski (1967) podaje dane dotyczące ustanowienia kolejnych rekordów świata (tabela 2.4.3.).

Tabela 2.4.3.

Struktura czasowa najlepszych biegaczy z lat 60.

Płotkarz	Impreza	Rok	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	F
Gleen Davis	OG	1960	5,9	9,9	14,0	18,2	22,4	26,7	31,8	35,6	40,0	44,5	49,3
				4,0	4,1	4,2	4,2	4,3	4,4	4,5	4,4	4,5	4,8
Salvatore Morale	ME	1962	6,0	9,9	14,0	18,0	22,1	26,4	30,8	35,2	39,5	44,1	49,2
				3,9	4,1	4,0	4,1	4,3	4,4	4,4	4,4	4,6	5,1

W dalszym ciągu analizowano pierwszą i drugą część dystansu. Do historii przeszedł bieg Davisa na Igrzyskach w Rzymie w 1960 roku. Już w pierwszej części dystansu Davis popełnił błąd i stracił do prowadzącego Niemca Janza 0,1 s (24,0 s v 23,9 s). Druga część biegu należała do Amerykanina (25,3 s v 26,0 s), a do rekordu świata zabrakło mu jedynie 0,1 s. W czasie Igrzysk Olimpijskich w Tokio w 1964 roku dokonano analizy czasowej wszystkich finalistów biegu na 400 m przez płotki (Breitschaft 1965).

Analiza uwzględniła pięć elementów biegu – płotki 1,3,5,7 i 9 (tabela 2.4.4.).

Tabela 2.4.4.

Struktura czasowa biegu finałowego na 400 m ppł w czasie Igrzysk Olimpijskich w Tokio w 1964 roku (według Breitschaft 1965)

Zawodnik	Kraj	Płotek					400 H
		1	3	5	7	9	
Cawley	USA	5,9	13,8	21,8	30,3	38,9	49,6
Cooper	GBR	5,8	13,8	22,0	30,8	40,0	50,1
Morale	ITA	5,8	13,8	22,0	30,8	40,0	50,1

Knoke	AUS	5,8	13,7	21,8	30,6	40,1	50,4
Luck	USA	5,7	13,8	22,0	30,5	39,6	50,5
Frinolii	ITA	5,8	13,4	21,0	29,8	39,0	50,7

Autor tekstu przedstawia ww. parametry czasowe w kontekście budowy ciała płotkarzy oraz ich sposobu pokonywania płotków. Jak ważna jest strategia biegu dowodzą losy Włocha Frinoliego, który przez $\frac{3}{4}$ dystansu był 2-3 metry z przodu a skończył na ostatnim miejscu. Dla wielu szkoleniowców idealnymi rozwiązaniami taktycznymi były wzorce najlepszych zawodników. Sadowski (1967) przedstawił podstawowe parametry czasowe rekordzistów świata z początków lat 60. (Gleen Davis i Salvatore Morale).

W pełni profesjonalne analizy strategii biegu na 400 m przez płotki rozpoczęły się od Igrzysk Olimpijskich w Meksyku w 1968 r. Pierwsze prace z tego zakresu dotyczyły...

Wg Welleshinsky i Lucky (2012) styl biegu mistrza olimpijskiego Gleen Davisa to „*running scared*” (= biegowy popłoch”) z charakterystycznym „*off stride*”) (= wybicie z rytmu, wytracenie z równowagi). Określenie „*off stride*” było charakterystyczne dla następnego mistrza – Rex Cawley’a (1964).

Nasilenie analiz „tempa i rytmu” biegu nastąpiło, głównie w obszarze badaczy radzieckich, po Igrzyskach w 1972 r. (Juszko 1975, Razumowski 1975, Artiuszenko 1978 i inni w okresie późniejszym).

Badania naukowe przedstawiają swoje (aplikacyjne) uwagi, natomiast źródła trenerskie w rozwoju „myśli szkoleniowej”, przedstawiały różne koncepcje.

Inne spojrzenie na strategię biegu ma kilku specjalistów, którzy chcieliby zmienić przepisy biegu. Według nich każdy z zawodników ustawiałby płotki wg indywidualnych potrzeb.

Znany historyk lekkoatletyki Roberto Luigi Quercetani wielokrotnie wspomina o strategii biegu na 400 m przez płotki w wykonaniu najlepszych zawodników świata (Quercetani 2008, s. 32–48). Oto niektóre z przedstawionych faktów uwzględniających zmienne czasowe i przestrzenne:

- wysoki Włoch Armando Filiput (rekordzista świata w 1950 r. – 51,9 s) w najlepszych biegach wykorzystywał rytm 17-krokowy („*seventees*”) na całym dystansie,
- Litujew (rekord świata w 1953 r. – 50,4 s) biegał w rytmie 13-krokowym do ósmego płotka a dwie ostatnie odległości między płotkami pokonywał 15-ma krokami,
- Glenn Davis (49,5 s w 1956 r.) rozpoczął bieg w rytmie 13-krokowym, a po siódmym płotku przechodził na bieg ... 17. krokami (!). Na Igrzyskach w Rzymie (1960 r.) Davis pierwszą część dystansu pokonał w 24 s, drugą w 25,3 s (w sumie 49,3 s). O słabej technice Amerykanina świadczy fakt, iż różnica między rekordowymi wynikami na 400 m ppł. i 400 m wynosiła 3,8 s. Dla kontrastu wskaźnik poziomu techniki

czwartego na mecie (49,9 s i rekord Europy) Helmuta Janza wynosił 2,1 s,

- płotkarz z Afryki Południowej Gert Potgieter (50,7 s na 440 y w 1957 r.) dwie pierwsze odległości między płotkami pokonywał na 13 kroków, a po trzecim płotku wykorzystywał rytm 14-krokowy (dwunożny),
- w 1961 r. w Belgradzie (11. września) Włoch Salvatore Morale wyrównał rekord świata Davisa (49,2 s) pokonując połówki w 23,9/25,3 s,
- w czasie biegu finałowego na Igrzyskach Olimpijskich w Meksyku Anglik David Hemery pierwsze 200 m pokonał w 23,3 s a drugiej części biegu wykorzystał wyjątkową wytrzymałość (specjalną) uzyskując 24,8 s i w sumie 48,12 s (rekord świata),
- cztery lata później Hemery rozpoczął niezwykle szybko (22,8 s); tuż przy nim biegli Akii Bua i Amerykanin Mann (po 23,0 s). Ugandyjczyk dysponował najlepszym finiszem (24,8 s w drugiej części dystansu) i ustanowił nowy rekord świata (47,82 s).
- w 1976 r. Edwin Moses, w swoich „siedmiomilowych butach” wszystkie odległości między płotkami pokonał w rytmie 13-krokowym, rozpoczynając nową erę w biegu na 400 m przez płotki.

Piśmiennictwo

Artiuszenko 1978 – dopisać

Breitchaft 1965 – dopisać!

Butler M. 2012-2019.

Hayek N. 2012.

Hoke R.J. 1943.

Hymans 2020

Iskra 2005.

Juszko 1975,

Lawson 1997.

Quercetani 1990, 2009

Razumowski 1975

Sadowski W. 1967.

Wallechinsky i Loucky 2012

Podział wskaźników czasowych

Podstawowe zmienne czasowe (1JP)

– podstawowe zmienne (czasowe i przestrzenne) opisano w rozdziale wcześniejszym

Dodawane zmienne czasowe (2-6JP)

Analiza części dystansu na 400 m przez płotki może dotyczyć różnych (krótszych lub dłuższych) fragmentów biegu – od odległości międzypłotkowych (= jednostek płotkarskich – 2JP), poprzez klasyczne 3 części (3JP) i „połówki” dystansu aż po znaczne części dystansu (5-6JP). W tabeli 2.4.5. przedstawiono wszystkie warianty uwzględnione w pracy.

Tabela 2.4.5.

Parametry dodawane*

Część dystansu	Zmienna czasowa ¹	Zmienna przestrzenna ²	Dystans (m)
1JP	$t_{best}, t_{worst}/t_{first}, t_{last}/t_{second}, t_{penultimate}$	n_{min}, n_{max}	35
	$t_{pre1}, t_{post1}, t_{pre2}, t_{post2}$		
2JP	$T_{1-3}, T_{3-5}, T_{5-7}, T_{7-9}$	N_{1-3}, N_{3-5}	70
	$T_{2-4}, T_{4-6}, T_{6-8}, T_{8-10}$	N_{6-8}, N_{8-10}	
3JP	$T_{1-4}, T_{4-7}, T_{7-10}$	$N_{1-4}, N_{4-7}, N_{7-10}$	115
	T_{2-5}, T_{5-8}		
	T_{3-6}, T_{6-9}		
4JP	T_{1-5}, T_{5-9}	N_{1-5}	150
	T_{2-6}, T_{6-10}	N_{6-10}	
	T_{3-7}, T_{4-8}		
5JP	$T_{1-6}, T_{2-7}, T_{3-8}, T_{4-9}, T_{5-10}$		185
6JP	$T_{1-7}, T_{2-8}, T_{3-9}, T_{4-10}$		220
Inne warianty (z dobiegiem lub wybiegiem)			
(+2JP)	T_{0-2}, T_{0-3}		≥75
	T_{8-F}, T_{9-F}		
(+3JP)	T_{0-3}, T_{0-4}		≥115
	$T_{6-F}, T_{7-F}, T_{8-F}$		
(+4JP)	T_{0-5}, T_{0-6}		≥150
	T_{5-F}, T_{6-F}		

* – także wybrane jednostki podstawowe

¹ – we wstępnej analizie uwzględniono wszystkie warianty

² – w analizie przestrzennej uwzględniono najważniejsze fragmenty biegu

Kolejne części biegu mają swoje odpowiedniki w nazewnictwie treningowym. Najczęściej, z punktu widzenia procesu szkolenia, parametry dodawane dotyczą dwóch lub trzech odcinków między płotkami (2-3JP). W tabe-

li 2.4.6. przedstawiono podział dystansu z uwzględnieniem potrzeb treningowych.

Tabela 2.4.6.

Podział dystansu – nomenklatura treningowa (2JP)

1JP	Nomenklatura treningowa (1JP)	2JP	Nomenklatura treningowa (2JP)
h0-1	1. Przyspieszenie biegowe (startowe)		
h1-2	2. Przyspieszenie płotkarskie lub „Transition” ^A szybkościowe	H1-3	2. Szybkość płotkarska (=przygotowanie szybkościowe)
h2-3	3. Szybkość płotkarska		
h3-4	4. Technika płotkarska lub Technika płotkarska I	H3-5	3. Technika płotkarska (=przygotowanie techniczne)
h4-5	5. „Transition techniczne” lub Techniczne „steady state”		
h5-6	6. „Transition rytmowe”(1)	H5-7-8	4. Rytm płotkarski (= przygotowanie rytmowe)
h6-7	7. Rytm płotkarski lub Technika płotkarska II		
h7-8	8. „Transition rytmowe”(2)		
h8-9	9. Wytrzymałość rytmowa lub Transition wysiłkowe	H8-10	5. Wytrzymałość płotkarska (=przygotowanie wytrzymałościowe)
h9-10	10. Przygotowanie do finiszu lub Wytrzymałość płotkarska		
h10-f	11. Wytrzymałość anaerobowa		

Szacowane zmienne czasowe

Ze względu na niestandardowe ustawienie płotków podział dystansu 400 m przez płotki nie może, w prosty i jednoznaczny sposób, klasyczny podział dystansu 400 m bez płotków (4 x po 100 m lub 2 x po 200 m). Nawiązując jednak do prostych rozwiązań w biegu sprinterskim różni autorzy próbują odpowiednich rozwiązań w biegu płotkarskim. Szczegóły podano w poprzednim rozdziale. W tabeli 2.4.7. przedstawiono podział dystansu na równe części, z uwzględnieniem potrzeb treningowych.

Tabela 2.4.7.

Cztery części dystansu 400 m przez płotki

Część dystansu	Elementy	Kierunki biegu	Liczba płotków	Położenie płotków
1. 100 m	Start niski + dobieg	Bieg po wirażu	2 płotki	20 m z H ₂ 15 m przed H ₃
2. 100 m		Bieg po prostej	3 płotki	15 m za H ₅

3. 100 m		Bieg po wirażu	3 płotki	10 m za H ₈
4. 100 m		Bieg po prostej	2 płotki	

(każde 100 m jest inne)

Podsumowując – podziały dystansu na część mogą przyjmować różne formy – tabela A (w Aneksie)

Przeliczniki prędkościowe zmiennych czasowych

Przebieg rywalizacji w biegu na 400 m przez płotki można analizować na wiele sposobów. Najczęściej wykorzystywane są 3 warianty:

1. Standardowy – na podstawie czasów kolejnych jednostek płotkowych (m.in. Yasui 1996, Ditroilo i Marini 2001)
2. Prędkościowy (klasyczny) – przeliczniki prędkościowe
3. Prędkościowy – zmiany prędkości biegu w ujęciu całości biegu (1) lub w stosunku do średniej prędkości (2) a także w odniesieniu do najszybszej jednostki płotkarskiej (3 – Letzelter M. 1977).

Dane można przedstawić w formie tabel (1) lub wykresów (2).

Tabela 2.4.8.

Przeliczniki prędkościowe parametrów czasowych

Część dystansu	Zmienna	Przelicznik prędkościowy (m/s)	
1JP	Podstawowe jednostki plotkarskie o długości 35 m (uzupełnione przez dobieg/45 m oraz wybieg/40 m)	V ₀₋₁ V ₁₋₂ V ₂₋₃ V ₃₋₄ V ₄₋₅	V ₅₋₆ V ₆₋₇ V ₇₋₈ V ₈₋₉ V ₉₋₁₀ V _{10-F}
2JP	Parametry dotyczące dwóch sąsiadujących jednostek plotkarskich (70 m)	V ₁₋₃ V ₃₋₅	V ₆₋₈ V ₈₋₁₀
3JP	Parametry dotyczące trzech sąsiadujących jednostek plotkarskich (115 m)	V ₁₋₄ V ₄₋₇	V ₇₋₁₀
4JP	Parametry obejmujące cztery jednostki plotkarskie (150 m)	V ₁₋₅	V ₆₋₁₀
„Ćwiartki”	Podział dystansu na szacowane cztery, równe odcinki biegowe (100 m)	V _{I100m} V _{II100m}	V _{III100m} V _{IV100m}
„Połówki”	Podział dystansu na szacowane dwa, równe odcinki biegowe (200 m)	V _{I200m}	V _{II200m}

Przeliczniki prędkościowe pozwalają przedstawić na wykresach realne zmiany w czasowej strategii biegu – szybszy bieg = wyższa pozycja na wykresie. Analiza zmian prędkości pozwala także na porównywanie strategii biegu na 400 m przez płotki z dystansem płaskim. Przeliczniki procentowe są pomocne w porównaniu strategii biegu w grupach kobiet i mężczyzn. Pomimo różnic czasu (prędkości) biegu, strategia czasowa biegu może być podobna.

Międzyczasy

Analiza strategii czasowej biegu na 400 m przez płotki bardzo często uwzględnia zmienne sumujące czasy pokonania kolejnych (coraz większych) części biegu. W pracy wykorzystano 4 grupy parametrów „dodawanych” określanych w literaturze jako międzyczasy („split times”). Najczęściej stosuje się wariant obejmujący cały dystans – międzyczasy „klasyczne”. W pracy wyodrębniono także kolejno dodawane części biegu wyłącznie między płotkami (międzyczasy „rytmowe” – tabela 2.4.9).

Tabela 2.4.9.

Międzyczasy biegu na 400 m przez płotki („split times”) w dwóch wariantach (dystansowy i rytmowy)

1. Międzyczasy klasyczne (dystansowe)		2. Międzyczasy rytmowe (tylko odległości między płotkami)		Część biegu
Symbol	Dystans (m)	Symbol	Dystans (m)	
T ₀₋₁	45 (0-45)	-	-	1. Start i przyspieszenie startowe
T ₀₋₂	80 (0-80)	T ₁₋₂	35 (45-80)	2. Szybkość płotkarska
T ₀₋₃	115 (0-115)	T ₁₋₃	70 (45-115)	
T ₀₋₄	150 (0-150)	T ₁₋₄	105 (45-150)	3. Technika płotkarska
T ₀₋₅	185 (0-185)	T ₁₋₅	140 (45-185)	
T ₀₋₆	220 (0-220)	T ₁₋₆	175 (45-220)	4. Rytm płotkarski
T ₀₋₇	255 (0-255)	T ₁₋₇	210 (45-255)	
T ₀₋₈	290 (0-290)	T ₁₋₈	245 (45-290)	
T ₀₋₉	325 (0-325)	T ₁₋₉	280 (45-325)	5. Wytrzymałość płotkarska
T ₀₋₁₀	360 (0-360)	T ₁₋₁₀	315 (45-360)	
T _{0-F}	400 (0-400)	-	-	6. Wytrzymałość beztlenowa
<i>Split times (classic)</i>		<i>Split times (only hurdle units)</i>		

Oryginalną (autorską) próbę oceny kolejnych („dystansowo” i „rytmowo”) części biegu są międzyczasy mierzone „od końca”. Takie dane mogą być istotne, głównie z praktycznego punktu widzenia.

Tabela 2.4.10.

Międzyczasy biegu na 400 m przez płotki - warianty „od końca”
(dystansowy i rytmowy)

1. Międzyczasy dystansowe- dodawane od końca		2. Międzyczasy dodawane od końca - rytmowe		Część biegu
Symbol	Dystans (m)	Symbol	Dystans (m)	
T _{0-F}	400 (0-400)	-	-	1. Cały dystans
T _{1-F} T _{2-F}	355 (45-400) 320 (80-400)	T ₁₋₁₀ T ₂₋₁₀	315 (45-360) 280 (80-360)	2. Dystans bez pierwszej części (szybkościowej)
T _{3-F} T _{4-F}	285 (115-400) 250 (150-400)	T ₃₋₁₀ T ₄₋₁₀	245 (115-360) 210 (150-360)	3. Dystans zmęczenia anaerobowego
T _{5-F} T _{6-F} T _{7-F}	215 (185-400) 180 (220-400) 145 (255-400)	T ₅₋₁₀ T ₆₋₁₀ T ₇₋₁₀	175 (185-360) 140 (220-360) 105 (255-360)	4. Druga część biegu
T _{8-F} T _{9-F}	110 (290-400) 75 (325-400)	T ₈₋₁₀ T ₉₋₁₀	70 (290-360) 35 (325-360)	5. Ostatnia prosta
T _{10-F}	40 (360-400)	-	-	6. Wytrzymałość beztlenowa
<i>Inverse split times</i>		<i>Inverse split times (hurdle units)</i>		

Sumującą tabelę międzyczasów zamieszczono w Aneksie.

Różnice zmiennych czasowych

Ustalenie różnic (czasowych i przestrzennych) to jeden ze sposobów analiz strategii biegu na 400 m przez płotki. Parametry różnicujące mają sens, jeżeli:

- A. Odcinki biegowe są podobne
- B. Liczba pokonywanych płotków jest podobna

Uwzględniając te punkty analizę różnic można podzielić ze względu na długości porównywanych odcinków:

Jednostki płotkarskie (1JP)

- Różnica między najwolniejszą i najszybszą jednostką - $h_{\max} - h_{\min}$
- Różnica między ostatnią (9-10) i pierwszą (1-2) - nie zawsze są to jednostki najszybsze i najwolniejsze (wg Greene i wsp. 2011)
- Różnica między przedostatnią (8-9) i drugą (2-3) - eliminowane są skrajne jednostki rytmiczne
- Różnica między ostatnią (9-10) i drugą (2-3).

Inne warianty:

Różnice po zmianie rytmu:

preH1.chance/ postH1.chance – różnica przed i po 1. zmianie rytmu

preH2.chance/ postH2.chance – różnica przed i po 2. zmianie rytmu

Różnice po newralgicznych punktach: H₆₋₅, H₇₋₆, H₈₋₇, H₉₋₈.

Różnica „połówek”

- **II 200H – I 200H;**

Warianty: – różnica procentowa w stosunku do czasu na 400 m H,

– także proporcje w % (wg Greene i wsp. 2011)

- **H₆₋₁₀ – H₁₋₅;** (także różnica wyrażona w%)

Różnice „1/3 distance” (wartości bezwzględne i procentowe)

- **H₇₋₁₀ – H₁₋₄** – różnice rozpoczęcia i finiszu; **(także w %)**
- **H₇₋₁₀ – H₄₋₇** – straty po drugiej części biegu; **(także w %)**
- **H₄₋₇ – H₁₋₄** – straty po pierwszej części biegu; **(także w %, wg Greene i wsp. 2011)**

Różnice 2JP (wartości bezwzględne i procentowe)

- **H₅₋₃ – H₁₋₃** – straty po pierwszej prostej; także **(H₅₋₃ – H₁₋₃/%)**
- **H₆₋₈ – H₅₋₃** – straty po biegu po wirażu (II) ; także **(H₆₋₈ – H₅₋₃/%)**
- **H₁₀₋₈ – H₆₋₈** – straty po ostatniej prostej; także **(H₁₀₋₈ – H₆₋₈/%)**
- **H₁₀₋₈ – H₁₋₃**- różnica pierwszej i ostatniej części biegu; także **(H₁₀₋₈ – H₁₋₃/%)**

Różnice zmiennych dotyczą zarówno parametrów czasowych, jak i przestrzennych – tab. 2.4.11.

Tabela 2.4.11.

Różnice zmian parametrów czasowych i przestrzennych

Jednostka pływacka	Zmienne czasowe	Zmienne przestrzenne
1JP	t ₂₋₃ - t ₁₋₂ t ₃₋₄ - t ₂₋₃ t ₄₋₅ - t ₃₋₄ t ₅₋₆ - t ₄₋₅ t ₆₋₇ - t ₅₋₆ t ₇₋₈ - t ₆₋₇ t ₈₋₉ - t ₇₋₈ t ₉₋₁₀ - t ₈₋₉	-

1JP(a)	$t_{\text{worst}} - t_{\text{best}}$ $t_{\text{pre1}} - t_{\text{post1}}$ $t_{\text{pre2}} - t_{\text{post2}}$	$n_{\text{max}} - n_{\text{min}}$
1JP(b)	$t_{\text{post1}} - t_{\text{pre1}}$ $t_{\text{post2}} - t_{\text{pre2}}$	
2JP	$T_{3-5} - T_{1-3}$ $T_{6-8} - T_{1-3}$ $T_{8-10} - T_{1-3}$ $T_{6-8} - T_{3-5}$ $T_{8-10} - T_{3-5}$ $T_{8-10} - T_{6-8}$	$N_{3-5} - N_{1-3}$ $N_{6-8} - N_{1-3}$ $N_{8-10} - N_{1-3}$ $N_{6-8} - N_{3-5}$ $N_{8-10} - N_{3-5}$ $N_{8-10} - N_{6-8}$
3JP	$T_{4-7} - T_{1-4}$ $T_{7-10} - T_{1-4}$ $T_{7-10} - T_{4-7}$	$N_{4-7} - N_{1-4}$ $N_{7-10} - N_{1-4}$ $N_{7-10} - N_{4-7}$
4JP	$T_{6-10} - T_{1-5}$	$N_{6-10} - N_{1-5}$
200 m H	$T_{II200H} - T_{I200H}^*$	-

*Greene (2011)

Różnice procentowe

Często w ocenie różnic, zamiast wartości bezwzględnych, uwzględnia się różnice procentowe tabela 2.4.12.

Tabela 2.4.12.

Różnice procentowe zmiennych czasowych

Jednostka pługarska	Różnice procentowe	Jednostka pługarska	Różnice procentowe
1JP	$t_{2-3} - t_{1-2} / t_{1-2} \times 100$ $t_{3-4} - t_{2-3} / t_{2-3} \times 100$ $t_{4-5} - t_{3-4} / t_{3-4} \times 100$ $t_{5-6} - t_{4-5} / t_{4-5} \times 100$ $t_{6-7} - t_{5-6} / t_{5-6} \times 100$ $t_{7-8} - t_{6-7} / t_{6-7} \times 100$ $t_{8-9} - t_{7-8} / t_{7-8} \times 100$ $t_{9-10} - t_{8-9} / t_{8-9} \times 100$	2JP	$T_{3-5} - T_{1-3} / T_{1-3} \times 100$ $T_{6-8} - T_{1-3} / T_{1-3} \times 100$ $T_{8-10} - T_{1-3} / T_{1-3} \times 100$ $T_{6-8} - T_{3-5} / T_{3-5} \times 100$ $T_{8-10} - T_{3-5} / T_{3-5} \times 100$ $T_{8-10} - T_{6-8} / T_{6-8} \times 100$
1JP(a)	$t_{\text{worst}} - t_{\text{best}} / t_{\text{best}} \times 100$ $t_{9-10} - t_{1-2} / t_{1-2} \times 100$ $t_{8-9} - t_{2-3} / t_{2-3} \times 100$ $t_{9-10} - t_{2-3} / t_{2-3} \times 100$	3JP	$T_{4-7} - T_{1-4} / T_{1-4} \times 100$ $T_{7-10} - T_{4-7} / T_{4-7} \times 100$ $T_{7-10} - T_{1-4} / T_{1-4} \times 100$
		4JP	$T_{6-10} - T_{1-5} / T_{1-5} \times 100$
1JP(b)	$t_{\text{post1}} - t_{\text{pre1}}$ $t_{\text{post2}} - t_{\text{pre2}}$	200H	$T_{II200H} - T_{I200H} / T_{I200H} \times 100$

Wg Greene i wsp. (2011)

Proporcje zmiennych czasowych

Zmienne, uwzględniające proporcje (czasowe lub przestrzenne) to często wykorzystywany sposób oceny strategii biegu. Najczęściej stosowany wariant w obszarze biegu na 400 m przez płotki przedstawiono w tabeli 2.4.13.

Tabela 2.4.13.

Proporcje bezwzględne – parametry czasowe i przestrzenne

Jednostka płotkarska	Proporcje czasowe	Proporcje przestrzenne
2JP	T ₃₋₅ /T ₁₋₃ T ₅₋₇ /T ₁₋₃ T ₈₋₁₀ /T ₁₋₃ T ₅₋₇ /T ₃₋₅ T ₈₋₁₀ /T ₃₋₅ T ₈₋₁₀ /T ₅₋₇	N ₃₋₅ /N ₁₋₃ N ₅₋₇ /N ₁₋₃ N ₈₋₁₀ /N ₁₋₃ N ₅₋₇ /N ₃₋₅ N ₈₋₁₀ /N ₃₋₅ N ₈₋₁₀ /N ₅₋₇
3JP	T ₄₋₇ /T ₁₋₄ T ₇₋₁₀ /T ₁₋₄ T ₇₋₁₀ /T ₄₋₇	N ₄₋₇ /N ₁₋₄ N ₇₋₁₀ /N ₁₋₄ N ₇₋₁₀ /N ₄₋₇
4JP	T ₆₋₁₀ /T ₁₋₅	N ₆₋₁₀ /N ₁₋₅

Często, poza ustaleniem wartości bezwzględnych, zmiennymi wykorzystywanymi w analizie strategii biegu są proporcje przedstawiane w skali procentowej tab. 2.4.14.

Tabela 2.4.14.

Proporcje procentowe – parametry czasowe i przestrzenne

Jednostka płotkarska	Wskaźniki czasowe	Wskaźniki przestrzenne
2JP	T ₁₋₃ /T ₃₋₅ x 100 T ₁₋₃ /T ₆₋₈ x 100 T ₁₋₃ /T ₈₋₁₀ x 100 T ₃₋₅ /T ₆₋₈ x 100 T ₃₋₅ /T ₈₋₁₀ x 100 T ₆₋₈ /T ₈₋₁₀ x 100	N ₁₋₃ /N ₃₋₅ x 100 N ₁₋₃ /N ₆₋₈ x 100 N ₁₋₃ /N ₈₋₁₀ x 100 N ₃₋₅ /N ₆₋₈ x 100 N ₃₋₅ /N ₈₋₁₀ x 100 N ₆₋₈ /N ₈₋₁₀ x 100
3JP	T ₁₋₄ /T ₄₋₇ x 100 T ₄₋₇ /T ₇₋₁₀ x 100 T ₁₋₄ /T ₇₋₁₀ x 100	N ₁₋₄ /N ₄₋₇ x 100 N ₄₋₇ /N ₇₋₁₀ x 100 N ₁₋₄ /N ₇₋₁₀ x 100
4JP	T ₁₋₅ /T ₆₋₁₀ x 100	N ₁₋₅ /N ₆₋₁₀ x 100

Wskaźnik rytmu (wg Król i Mynarski 1998) określono jako „*wielkości określające stosunki czasowe głównych faz czynności ruchowej*”.

Poszukując odpowiednich wskaźników w ocenie poszczególnych elementów biegu można wykorzystać następujące wzory:

- wskaźnik rytmu płotkarskiego – $H_{5-8}/H_{0-F} \times 100\%$
- wskaźnik techniki płotkarskiej – $H_{7-10}/H_{1-10} \times 100\%$
- wskaźnik szybkości płotkarskiej – $H_{4-7}/H_{1-10} \times 100\%$
- wskaźnik wytrzymałości płotkarskiej – $H_{1-4}/H_{1-10} \times 100\%$

Wskaźniki procentowe zmiennych czasowych **(wskaźniki dystansowe i rytmowe)**

Innym sposobem oceny czasowej strategii biegu jest obliczenie czasu wybranych odcinków międzypłotkowych w kontekście całego dystansu z płotkami (T1-10).

Tabela 2.4.15.

Wskaźniki międzypłotkowe

Jednostka płotkarska	Wskaźniki czasowe	Wskaźniki przestrzenne
2JP	(1) $T_{0-1}\% T_{1-10}$ (2) $T_{1-3}\% T_{1-10}$ (3) $T_{3-5}\% T_{1-10}$ (4) $T_{6-8}\% T_{1-10}$ (5) $T_{8-10}\% T_{1-10}$ (6) $T_{10-F}\% T_{1-10}$	$N_{0-1}\% N_{1-10}$ $N_{1-3}\% N_{1-10}$ $N_{3-5}\% N_{1-10}$ $N_{6-8}\% N_{1-10}$ $N_{8-10}\% N_{1-10}$ $N_{10-F}\% N_{1-10}$
3JP	$T_{1-4}\% T_{1-10}$ $T_{4-7}\% T_{1-10}$ $T_{7-10}\% T_{1-10}$	$N_{1-4}\% N_{1-10}$ $N_{4-7}\% N_{1-10}$ $N_{7-10}\% N_{1-10}$
4JP	$T_{1-5}\% T_{1-10}$ $T_{6-10}\% T_{1-10}$	$N_{1-5}\% N_{1-10}$ $N_{6-10}\% n_{1-10}$
„Połówki”		
200H	$TII200H-TI200H\%400H$	Wg Greene (2011)

Takie ujęcie problemu pozwala na wyłonienie kolejnych wskaźników:

Wskaźnik przyspieszenia startowego

Wskaźnik szybkości płotkarskiej

Wskaźnik techniki płotkarskiej

Wskaźnik „rytmu” płotkarskiego

Wskaźnik wytrzymałości płotkarskiej

Wskaźnik wytrzymałości beztlenowej

Wybór najlepszego wskaźnika jest dość trudny, zważywszy, że ich związki z końcowym wynikiem są minimalne – patrz dalsze rozdziały W „Aneksie” pogrupowano zmienne w kontekście różnych części dystansu.

Piśmiennictwo*

Greene i wsp. 2011

Hollings i wsp. 2012

Król i Mynarski 1998

Letzelter M. 1977. Hürdensigkeitprint. Geschwindigkeitsverlauf und spezielle Eigenschaften. Verlag Bartels & Wernitz KG, Berlin/München/Frankfurt a.

M Letzelter M. i Letzelter H. 1980

Quercetani 2009

Quinn 2010

*szczegóły identyfikacji źródeł podano na końcu pracy

3. Analizy podstawowe

3.1. Parametry podstawowe

A. Rozwój kariery sportowej w aspekcie strategii biegu na 400 m przez płotki

Pytania:

1. Jakie są zmiany strategii biegu w okresie rozwoju mistrzostwa sportowego?
2. Jaki jest okres formowania optymalnej strategii biegu na 400 m przez płotki?

Zagadnienie przebiegu mistrzostwa sportowego (rozwoju kariery sportowej) w biegu na 400 m przez płotki było niejednokrotnie poruszane w publikacjach autora (Iskra i Walaszczyk 1994, Iskra 2014, Iskra i Pietrzak 2014, Iskra i wsp. 2014). Temat ten jest istotny z badawczego i szkoleniowego punktu widzenia.

Informacje zawarte we wcześniejszych pracach pozwalają ustalić optymalny wiek mistrzostwa sportowego w biegu na 400 m przez płotki, wiek rozpoczynania specjalizacji plotkarskiej a także czasookres dojścia do rekordowych wyników i możliwości czasowe kontynuowania kariery sportowej. We wszystkich analizach podkreśla się fakt indywidualizacji przebiegu mistrzostwa sportowego. Przypadki błyskawicznego dojścia do światowego poziomu – mistrz olimpijski Tisdall do sukcesu w 1932 r w Los Angeles trenował kilka miesięcy (Quaracetani 2009). W historycznej już pracy Kostial i Matousek (1977) wiek mistrzostwa sportowego plotkarzy na 400 m ocenili na 22,5 lat, a etap specjalizacji na 17,7 lat.

W historii światowego biegu na 400 m przez płotki notowane są także przypadki późnego rozpoczynania treningu specjalistycznego – Kriss Akabusi zdecydował się na bieganie płotków w 30 roku życia (Harrison 1991).

Grupa analizowanych plotkarzy rozpoczynała starty w biegu na 400 m przez płotki stosunkowo późno, bo dopiero w wieku juniora (18–19 lat). Zakres indywidualnych wyników był znaczny – od 16 do 31 lat. W pierwszym roku startów plotkarze prezentowali bardzo zróżnicowany poziom sportowy – od wyniku medalisty olimpijskiego Calvina Davisa (47,91) do wyników ponad 10 s słabszych. Postęp wyników w całym okresie kariery sportowej to ok. 3 sekundy. Na ten rezultat plotkarze potrzebowali średnio 7 lat rozwoju mistrzostwa sportowego – tabela 3.1.1.

Wyniki analizy jednoznacznie wskazują na pewne prawidłowości, jednakże w żadnym przypadku nie mogą być przewodnikiem dla każdego plotkarza. Skala indywidualnych różnic jest tak duża, że w skrajnych przypadkach mamy do czynienia z zupełnie różnymi programami szkolenia.

Tabela 3.1.1.

Zmienne rozwoju kariery sportowej w biegu na 400 m przez płotki

Zmienna	J.m.	x	Med	SD	Min-max	Sk	Ku
T400H	s	48,66	48,63	0,75	46,78-50,69	0,51	-0,21
T400H		51,84	51,71	1,95	47,91-58,60	2,47	7,28
(inicjacja) Postęp		3,18	3,26	2,05	-1,24-(+)9,65	0,56	-0,01
Wiek	lata	25,96	25	3,69	18-37	0,23	-0,45
Wiek		19,00	18	2,79	16-31	0,44	0,51
(inicjacja) Staż		6,96	7	3,68	0-18,00	0,35	0,06

Tabela 3.1.2.

Analiza korelacji między zmiennymi rozwoju kariery sportowej

Zmienna	1	2	3	4	5	6
1. T400H	-					
2. Wiek	-0,10	-				
3. Wiek inicjacji	-0,00	0,38	-			
4. Staż	-0,17	0,58	-0,38	-		
5. Wynik inicjacji	0,05	-0,08	-0,55	0,32	-	
6. Postęp	-0,26	-0,01	-0,52	0,35	0,92	-

r = 0,05, dla p ≤ 0,05

Analiza korelacji zmiennych w obszarze rozwoju kariery sportowej wskazuje na fakt dłuższej kariery i większego postępu w grupie najlepszych płotkarzy (tabela 3.1.2). Dane te wskazują na preferowanie spokojnego rozwoju wyników, odpowiednio rozłożonego w czasie.

Tabela 3.1.3.

Współczynniki korelacji pomiędzy zmiennymi rozwoju mistrzostwa sportowego a wybranymi parametrami strategii biegu na 400 m przez płotki

Zmienna	Wiek (lata)		Staż (lata)	Wynik inicjacji
	PB	Inicjacja		
T0-5H	-,20***	-,08	-,14**	,11
T6-10H	-,14**	,00	-,17**	,08
N1-5	-,03	-,02	-,06	-,09
N6-10	,00	,05	-,08	-,18**
WPT	,10	,27***	-,06	,05
13	-,02	-,03	,03	,05
14	-,02	,01	,12*	-,03
15	-,01	,03	-,15*	-,04
Rytm	-,05	,11	,06	,11

Dane wskazują na istotny element – jeżeli wcześniej rozpoczynamy trening w biegu na 400 m przez płotki jest duże prawdopodobieństwo, że płotkarz będzie lepszy technicznie ($r = 0,27$, $p \leq 0,001$).

Dobry wynik w czasie inauguracyjnych biegów uwarunkowane są znacznymi liczbami kroków międzypłtkowych. Znaczny staż treningowy pozwala na wykorzystanie „rytmu” 14-krokowego, z minimalizowaniem biegu 15. krokami – tabela 3.1.3.

Wnioski:

1. Rozwój mistrzostwa sportowego w biegu na 400 m przez płotki ma charakter indywidualny. Średnie dane mogą być jedynie wskazówką a nie instrukcją działania.
2. Wczesna specjalizacja z dobrymi wynikami w okresie inicjacji w biegu na 400 m przez płotki charakteryzuje się znaczną liczbą kroków między płotkami z jednoczesnym niskim wskaźnikiem poziomu techniki.

Wnioski aplikacyjne:

1. Dobór środków i metod w opracowywaniu strategii biegu musi być dostosowany do etapu rozwoju zawodnika.
2. Wczesne rozpoczynanie specjalistycznego treningu opiera się na „rytmie” ze znaczną liczbą kroków, co ułatwia minimalizowania WSP. W późniejszym okresie rytm ten zmienia się na skutek m.in. stosowania specjalnych środków treningowych.

Piśmiennictwo uzupełniające:

Dickwach i Wagner 1997

B. Budowa ciała a strategia biegu na 400 m przez płotki

Pytania:

1. Czy budowa ciała płotkarzy na 400 m jest elementem mistrzostwa sportowego?
2. W jakim stopniu wysokość ciała jest elementem opracowania „*stride pattern*”

Strategia biegu na 400 m przez płotki to wzajemne powiązania między strukturą czasową i strukturą przestrzenną (= „*split times*” + „*stride pattern*”). Poszukując dodatkowych zmiennych nie sposób pominąć budowy ciała płotkarzy (Adamczyk i wsp. 2010, Iskra 2014). Konstrukcja „planu biegu” musi uwzględnić wysokość ciała oraz typ budowy ciała (płotkarz szczupły czy umięśniony).

Historia olimpijskiego biegu na 400 m przez płotki mężczyźni dowodzi dużej różnorodności typów somatycznych płotkarzy (Iskra 2012a z uzupełnieniami) – tabela 3.1.4.

Tabela 3.1.4.

Budowa ciała medalistów igrzysk olimpijskich (1900–2021)

OG	Złoty medal	BH	BW	Srebrny medal	BH	BW	Brązowy medal	BH	BW
1900	Tewksbury	170	60	Tauzin	169	68	Orton	169	65
1904	Hillman	180	66	Waller	176	71	Poage	-	-
1908	Bacon	183	77	Hillman	180	66	Tremeer	-	-
1920	Loomis	188	?	Norton J.	183	93	Desch	170	61
1924	Taylor F.M.	185	75	Wilén	180	?	Riley	183	74
1928	Burghley	180	70	Cuhel	178	73	Taylor F.M.	185	75
1932	Tisdall	186	74	Hardin	188	75	Taylor F.M.	185	75
1936	Hardin	188	75	Loaring	178	74	White	180	68
1948	Cochran	178	70	White	180	68	Larsson	178	70
1952	Moore	185	77	Lituyev	183	78	Holland	191	81
1956	Davis	183	73	Southern	185	81	Culbreath	170	62
1960	Davis	183	73	Cushman	188	72	Howard	185	78
1964	Cawley	183	75	Cooper	188	85	Morale	183	75
1968	Hemery	187	72	Hennige	189	81	Sherwood	187	83
1972	Akii-Bua	188	77	Mann	193	86	Hemery	187	72
1976	Moses	186	72	Shine	183	75	Gavrilenko	187	76
1980	Beck	191	82	Arkhipenko	178	65	Oakes	177	69
1984	Moses	186	72	Harris	183	77	Schmid	187	82
1988	Phillips	188	84	Dia Bâ	190	72	Moses	186	72
1992	Young	194	82	Graham	178	72	Akabusi	185	81
1996	Adkins	188	80	Matete	183	81	Davis	183	79
2000	Taylor A.	188	84	Al-Somaily	191	72	Herbert	184	85
2004	Sánchez	178	73	McFarlane	183	75	Keïta	196	86
2008	Taylor A.	188	84	Clement	188	84	Jackson	173	69
2012	Sanchez	178	73	Tinsley	185	74	Culson	198	79
2016	Clement	188	84	Tumuti	175	72	Copello	196	86
2021	Warholm	187	78	Benjamin	191	77	dos Santos	190	75

W tabeli 3.1.5. przedstawiono podstawowe parametry budowy ciała najlepszych plotkarzy uwzględnionych w podstawowej grupie badawczej z dodatkiem zawodników z ostatniego okresu.

Tabela 3.1.5.

Budowa ciała najlepszych płotkarzy świata (wybór zawodników ujętych w analizie)

Płotkarz	Wynik (PB)	BH (cm)	BW (kg)	BMI
1. Wysokość ciała ≥ 190 cm				
Culson Javier	47,72 (2010)	198	79	20,15
Keita Naman	48,17	198	93	23,72
Bekric Emir	48,05	196	87	22,65
Harnden Kenneth	48,05	196	89	23,17
Nylander Sven	47,98 (1996)	194	85	22,82
Ackermann Uwe	48,50 (1982)	194	89	22,85
Hawkins Tranel	48,78 (1983)	194	85	20,82
Young Kevin	46,68 (1992)	192	80	21,48
Al Somalyi Hadi	47,53 (2000)	191	72	19,74
Dia Ba Amadou	47,23 (1988)	190	72	19,94
2. Wysokość ciała 181–189 cm				
Akii-Bua John	47,82 (1972)	188	79	22,35
Moses Edwin	47,02 (1983)	188	77	21,79
Phillips Andre	47,19 (1988)	188	84	23,77
Adkins Derrick	47,54 (1995)	188	75	21,22
Taylor Angelo	47,25 (2008)	188	77	21,79
Clement Kerron	47,24 (1985)	188	84	23,77
Hemery David	48,12 (1968)	187	74	21,16
Schmid Harold	47,48 (1982)	187	82	23,45
Carter James	47,43 (2005)	186	79	22,84
Akabusi Kriss	47,82 (1992)	185	79	23,08
Tinsley Michael	47,70 (2013)	185	74	21,62
Diagana Stephane	47,37 (1995)	184	75	22,15
Matete Samuel	47,10 (1991)	183	81	24,19
3. Wysokość ciała ≤ 180 cm				
Januszewski Paweł	48,17 (1998)	179	71	22,16
Sanchez Felix	47,25 (2003)	178	73	23,04
Wintrop Graham	47,60 (1993)	178	72	22,72
Mori Fabrizio	47,54 (2001)	175	68	22,20
Jackson Bershown	47,30 (2005)	173	67	22,72
Tamesue Dai	47,89 (2001)	170	67	23,18
Keter Eric	48,24 (1993)	170	60	20,76
4. Najlepsi płotkarze z lat 2020–2022				
Warholm Karsten	45,94 (2021)	187	78	22,20
Benjamin Rai	46,17 (2021)	191	77	21,10
Dos Santos Alison	46,29 (2022)	190	75	20,83
Samba Abderrahman	46,78 (2018)	187	75	21,42
McMaster Kyron	47,08 (2021)	187	79	22,64
Bassitt Trevor	47,39 (2022)			

Happio Wilfried	47,41 (2022)	187	79	22,64
Rosser Khallifah	47,59 (2022)	190	75	20,83
Copello Yasmini	47,81 (2018)	196	86	22,39
Mägi Rasmus	47,82 (2022)	188	84	23,81

Dane wskazują na znaczne zróżnicowanie budowy ciała (tabela 2). Różnice wysokości ciała sięgają 30 cm (170–198 cm). Charakterystyczne, że grupa wybitnych płotkarzy (Aki-Bua, Moses, Phillips, Adkins, Taylor A., Clement) miała 188 cm. Inni rekordziści (Hemery, Schmid, Warholm) byli o 1 cm niżsi. W grupie płotkarzy światowego poziomu są także zawodnicy niskiego wzrostu – 170 cm (Keter, Temesue), 173 cm (mistrz świata Bershaw Jackson) i 175 cm (mistrz świata Fabrizio Mori).

Podobne zróżnicowanie obejmuje masę ciała. Francuz Naman Keita (93 kg), Serb Bekric (87 kg) czy Hiszpan Copello (86 kg) to płotkarze o znacznej masie ciała. Czołowi płotkarze świata (Phillips, Clement) także prezentowali silną budowę ciała (84 kg). Płotkarze o niewielkiej masie ciała wydają się przeszłością tego dystansu (Frinolli Roberto – mistrz Europy z 1966 r. – 64 kg) czy Archipienko (65 kg). Różnica 30 kg to powód do innego spojrzenia na dystans 400 m przez płotki z punktu widzenia budowy ciała.

Najlepsi płotkarze świata z ostatnich lat posiadają zróżnicowaną budowę ciała. Karsten Warholm i Kyron McMaster budowę ciała nawiązują do wielu płotkarzy z poprzednich lat (Aki-Bua, Moses, Taylor) z BMI na poziomie 22,00. Inny, delikatniejszy typ budowy posiadają Dos Santos i Rosser (podobnie, jak wcześniej Culson). Płotkarze o znacznej wartości BMI (Mägi) należą do rzadkości.

Tabela 3.1.6. zawiera zależności między wybranymi parametrami strategii biegu a podstawowymi zmiennymi budowy ciała (wysokość i masa ciała oraz wskaźnik BMI).

Tabela 3.1.6.

Analiza korelacji parametrów budowy ciała z wybranymi zmiennymi (n = 274 - 295)

Zmienna	BH	BW	BMI
T400H	,07	-,01	-,14*
T1-10H	,01	-,10	-,17**
T400	,13*	-,11	-,35***
WPT	-,26***	-,08	,22***
T1-4H	-,13*	-,21***	-,16**
T4-7H	-,01	-,05	-,08
T7-10H	,15**	,04	-,14*
T4-7-T1-4	,13*	,17**	,10
T7-10-T4-7	-,15*	,08	-,06
T7-10-T1-4	,20***	,18**	,01

N1-4	-,45***	-,38***	,00
N4-7	-,50***	-,45***	-,04
N7-10	-,49***	-,40***	,02
N13	,27***	,26***	,07
N14	-,23***	-,28***	,04
N15	-,30***	-,26***	,00

Wysokość ciała nie wpływa bezpośrednio na końcowy wynik, a także czas biegu między płótkami. Dane wskazują, że wysocy zawodnicy wolniej rozpoczynają bieg, jednakże potrafią zachować najwięcej sił w końcowym fragmencie biegu. To efekt utrzymania najmniejszej liczby kroków w środkowej i końcowej części biegu. Znaczna wysokość ciała sprzyja preferowaniu rytmu 13-krokowego. Masa ciała nie definiuje jednoznacznie preferencji do biegu na 400 m przez płótki mężczyzn. Początkowy czas biegu jest najmniejszy w grupie płótkarzy o znacznej masie ciała. Płótkarze o znacznej masie ciała mają największe straty prędkości biegu w końcowym etapie rywalizacji. Zawodnicy o „solidnej” budowie mają także możliwości pokonywania płótków w rytmie 13-krokowym.

Wskaźnik BMI często uważny jest jako somatyczny przewodnik do uprawiania danej dyscypliny sportu lub konkurencji lekkoatletyczne. W przypadku biegu na 400 m przez płótki sytuacja nie jest jednoznaczna. Wysokie wartości BMI sprzyjają wynikom na 400 m przez płótki ($p \leq 0,05$) a w szczególności poziomem biegu między płótkami ($p \leq 0,01$). Zależności na poziomie istotności $p \leq 0,001$ dotyczą poziomu biegu na 400 m (+) oraz poziomu przygotowania technicznego (-). Płótkarze o znacznym umięśnieniu (trudno na tym poziomie mówić o tkance tłuszczowej) lepiej biegają płaskie biegi sprinterskie (100-200-400 m) ale są znacznie słabsi technicznie.

Wnioski:

1. Największe osiągnięcia w biegu na 400 m przez płótki osiągnęli (i osiągają) zawodnicy o zróżnicowanej budowie ciała.
2. Wysokość ciała jest ważnym elementem opracowania optymalnej strategii biegu w oparciu o liczbę kroków międzypłótkowych („*stride pattern*”).
3. Masa ciała (głównie masa mięśniowa) pośrednio wpływa na strategię czasowa biegu. Zawodnicy z tej grupy rozpoczynają bieg znacznie szybciej niż płótkarze o szczupłej budowy ciała.

Wnioski aplikacyjne:

1. Przeprowadzając selekcję do biegu na przedłużonym dystansie płotkarskim (finalnie do biegu na 400 m przez płotki) budowę ciała należy traktować jako przywilej, a nie konieczność.
2. W opracowaniu przestrzennej (liczba kroków) strategii trener musi uwzględnić m. in. wysokość ciała (a pośrednio długość kończyny dolnej).
3. Różne typy budowy ciała należy traktować odmiennie w opracowywaniu strategii biegu. Należy poszukiwać zalet danego typu, dostosowując środki treningowe do optymalnej strategii.

C. Przygotowanie motoryczne i techniczne płotkarzy na 400 m przez płotki

Pytania:

1. Który aspekt przygotowania – motoryczny czy techniczny jest najważniejszy w szkoleniu płotkarzy?
2. Jaki typ płotkarza jest dominujący w grupie najlepszych zawodników?
3. Czy wynik w biegu na 400 m (bez płotków) może być wskaźnikiem mistrzostwa sportowego płotkarza?

Bieg na 400 m przez płotki to konkurencja łącząca konieczność przygotowania motorycznego (kondycyjnego) i technicznego (koordynacyjnego). Ocena typów najlepszych płotkarzy dowodzi dużego zróżnicowania proporcji przygotowania motorycznego (w różnym zakresie) i technicznego.

Poszukiwanie optymalnego (= najlepszego) typu sprawnościowego płotkarzy na 400 m ma nie tylko sens statystyczno-teoretyczny ale także znaczenie praktyczne. We wcześniejszych pracach Iskry (1999, 2012a, 2014). Określono typologię płotkarzy specjalizujących się na dystansie 400 m. Wyróżniono siedem typów zawodników, uwzględniając stopień przygotowania motorycznego i technicznego. Oto one, z atrybutem charakterystycznym dla danego typu:

1. Typ tempowy (400 m płaskie)
2. Techniczny (110 m ppł)
3. Szybkościowy (100-200 m)
4. Wytrzymałościowy (800 m)
5. Rytmowy (400 m ppł)
6. Wszechstronny (dziesięciobój)
7. Optymalny (400 m + 110 m ppł +...) – wg Iskra 1999, s. 237–240)

W tabeli 3.1.7 przedstawiono wszystkich rekordzistów świata i ich typy sprawnościowe, z uwzględnieniem osiągnięć w dodatkowych konkurencjach.

Tabela 3.1.7.

Charakterystyka sprawnościowa i techniczna wybranych, najlepszych plotkarzy świata

Rok	Plotkarz	Wynik	WR	400 m	WPT	110H	Inne	Typ
1908	Bacon Ch.	55,0	WR				800 m	Wytrzymałościowy
1910	Anderson G.	56,8	WRy			15,2y		110H
1920	Norton J.	53,4	WRy			15,6y		110H
1920	Loomis F.	54,0	WR					
1925	Pettersson S.	52,4	WR	49,5	2,9	14,6 ^{WR}		
1927	Lord Burghley	52,2	10G	49,7	2,5	14,6		110H
1927	Gibson J.	52,6	WRy					110H
1928	Taylor M.	52,0	WR	48,2y	3,8		LJ	400H (1)
1934	Hardin G.	50,6	WR	46,8y	3,8			400
1942	Cochran E.	51,1	WRy	46,7	4,4			400
1949	Ault R.	52,2	WRy	48,2y	4,0	15,2y		400
1950	Filiput A.	51,6	WRy	48,2	3,4			
1952	Moore Ch.	50,7	WRy	47,0y	3,7			
1954	Litujew J.	50,4	WRy	48,2	2,2	14,4	Dec	Wielobojowy
1957	Culbreath J.	50,2	WRy	47,2	3,0			400H (1)
1958	Davis G.	49,2	WR	45,5	3,7	14,3y	100 m	Szybkościowy
1960	Potgieter G.	49,3	WRy	46,3	3,0	14,5y	PV,TJ	Wielobojowy
1962	Morale S.	49,2	WR	47,6	1,6	14,3	800 m	Wytrzymałościowy
1964	Cawley W.	49,1	WR	46,0y	3,1	13,9		110
1968	Vanderstock	48,8	WR			14,0		110
1968	Hemery D.	48,12	WR	47,1	1,0	13,4		110
1970	Mann R.	48,74	WRy					110
1972	Akii-Bua J.	47,82	WR	45,8	2,0	13,8w		400H (2)
1974	Bolding J.	48,1	WRy	45,3	2,8			
1983	Moses E.	47,02	WR	45,60	1,42	13,64		400H (2)
1992	Young K.	46,78	WR	45,11	1,67	13,65		400
								400H(2)
								400H(2)
2021	Warholm	45,94	WR	44,87		14,30	Dec	Wielobojowy

WR – oficjalny rekord świata, WRy – rekord na dystansie 440 y przez płotki.

W historii tej konkurencji sukcesy odnosili zawodnicy o różnych predyspozycjach motorycznych i uzdolnieniach ruchowych. Właśnie te dwa elementy – zdolności kondycyjne oraz umiejętności techniczne, leżą u podstaw typologii sprawnościowej plotkarzy-czterystometrowców. Oczywiście nie należy zapominać o budowie ciała (osobny rozdział pracy) i atutach psychicznych (m.in. odwaga przed pokonaniem płotka w różnych, często trudnych sytuacjach), które pośrednio wpływają na typ plotkarza.

W zakresie zdolności kondycyjnych (= sprawności motorycznej) dominujące znaczenie w biegu na 400 m przez płotki ma szybkość, a przede wszystkim wytrzymałość beztlenowa (anaerobowa). W grupie plotkarzy na 400 m zdarzają się także zawodnicy o przedłużonych (do 800 m) zdolnościach wytrzymałościowych. Znaczenie treningu siłowego w tej konkurencji nie ulega wątpliwości, jednakże z badawczego (empirycznego, mierzalnego) punktu widzenia trudno ocenić czy zawodnik jest typu siłowego.

W obszarze zdolności koordynacyjnych w biegach przez płotki miernikiem jest umiejętność/technika pokonywania płotka. W tym miejscu trzeba jednak jednoznacznie rozdzielić technikę pokonywania płotków na pokrewnym dystansie 110 m oraz umiejętność biegu przez płotki na dystansie 400 m. Pierwszy wariant umownie możemy nazwać „techniką płotkarską: drugi „rytmem płotkarskim”.

Ważne, z punktu widzenia selekcji i organizacji szkolenia, są także inne zdolności i umiejętności, pozwalające przyszłym plotkarzom na sukcesy w innych konkurencjach lekkoatletycznych (skoki i wieloboje).

Uwzględniając powyższe uwarunkowania można pozwolić sobie na wyodrębnienie typów plotkarzy na 400 m. Wcześniejsze próby podziału plotkarzy autor zawarł w innych pracach (Iskra 1999, Iskra 2012a). Wyboru dominującego typu dokonano na podstawie punktacji Spirieva (2005), pozwalającej na ocenę „ważności” konkurencji według skali punktowej.

Tabela 3.1.8.

Typologia plotkarzy na 400 m (wybór)

Typ	Przykłady historyczne	Przykłady z pracy
Typy główne		
1. Rytmowy (400H)	Uwe Ackerman, Aleksandr Wasiliew	Oleg Tverdokhle, Fabrizio Mori,
2. Tempowy (400)	Gleen Davis, Rex Cawley, Volker Beck	Kriss Akabusi, Calvin Davis, Kerron Clement, Alison Dos Santos*
3. Techniczny (110H)	Sten Pettersson, Lord Burghley, Stephane Caristan, Larry Cowling	David Hemery, Alan Pascoe,
Typy dodatkowe		
4. Szybkościowy (100/200)	Walter, Tewksbury, Bryan Bronson	Rai Benjamin
5. Wytrzymałościowy (800)	Dave Patrick	Harald Schmid, Patryk Dobek
6. Wszechstronny (Dec)	John Akii-Bua,	Kevin Young*, Karsten Warholm,
7. Optymalny		Edwin Moses, Andre Phillips, Derrick Adkins

*- także inne preferencje

Inne spojrzenie na typologię płotkarzy na 400 m, uzupełnioną o typy budowy ciała, przedstawiono w tabelach 3.1.1.9.-3.10.

Tabela 3.1.9.
Typologia płotkarzy na 400 m – różni, ale wybitni (Część I – historia)

Płotkarz	400H (s)	Rok	BH (cm)	BW (kg)	Wiek (lata)	400 m (s)	WPT (s)	100/200 m (s)	800 m (s)	110H	Skoki i wieloboje	Hala
Tewksbury Walter (USA)	57,6	1900	183	75	24			10,8/22,1				
Najlepszy sprinter świata 1900 r. 5-krotny medalista olimpijski (1900) – 400H = 200 m (G), 60 = 100 m (S) + 200H (B). Nieoficjalny rekordzista świata na 400h. Typ – 100-200 m												
Hillman Harry (USA)	53,0*	1904	180	66	23	48,9	4,1*/ 6,1			15,4		
3-krotny złoty medalista z 1904 r – 400 m /400H/200H; srebrny medalista z 1908 r. na 400H. Płotki w 1904 r. miały tylko 76 cm.												
Typ – 400 m												
Bacon Charles (USA)	55,0	1908	183	77	23	-	-	-	800/1500			
Pierwszy oficjalny rekordzista świata na 400H. Odnosił sukcesy olimpijskie także w biegach średnich – 1500 m (1904), 800 m (1906).												
Typ – wytrzymałościowy												
Pettersson Sten (SWE)	53,8	1925	190	79	23	49,7	4,1	10,7/21,9		14,8		
Rekordzista świata na 400H (53,8 s w 1925) i na 110H (po dwóch latach, w 1927 r.). Typ – 110H												
Burghley Lord David (GBR)	52,2	1932	180	70	27	49,7*	2,5			14,5y		
Mistrz olimpijski na 400H (1932); potrójny mistrz British Empire Games (1930 – 120yH, 440yH, 4x400y). *W sztafecie uzyskał zdecydowanie lepszy czas na 440 h (46,7). Typ – 110H												
Tisdall Robert	51,63	1932	186	74	25	49,0	1,63			15,5		
Do startu olimpijskiego trenował... 3 miesiace. Na Igrzyskach zajął 8 miejsce w dziesięcioboju. Typ – wszechstronny												
Davis Glenn (USA)	49,2	1958	183	73	24	45,5	3,7	10,3,21,0		14,3y	LJ – 7,32	
Dwukrotny mistrz olimpijski na 400H (1956/1960), dwukrotny rekordzista świata (49,5/49,2) na 400 H, rekordzista także na 440Y (45,8 s/1958 r.). Typ – 400 m												
Morale Salvatore (ITA)	49,2	1962	183	75	24	47,6	1,6	21,6	1:52,3	14,3		
Typ – wszechstronny (biegowy)												
Warren „Rex” Cawley	49,1	1964	183	75	24	46,0y	3,1	9,7(100y)		13,9		
Rekordzista świata na 400 m ppł. Typ – optymalny												

Tablica 3.1.10.

Typologia płotkarzy na 400 m – różni, ale wybitni (Część II – plotkarze ujęci w analizie)

Płotkarz	400H (s)	Rok	BH (cm)	BW (kg)	Wiek (lata)	400 m (s)	WPT (s)	100/200 m (s)	800 m (s)	110H	Skoki i wieloboje	Hala
Hemery David (GBR)	48,12	1968	187	72	24	47,1	1,02		13,4			
Akii-Bua John (UGA)	47,82	1972	187	75	23	45,8	2,02		13,8w	Dec-6933		
Na początku specjalizował się w biegu na 110 H i w wieloboju. Pierwszy biegacz, który pokonał granicę 48 s na 400H. Typ: wielobojowy/110H												
Moses Edwin (USA)	47,02	1983	186	72	28	45,60	1,42	21,43		13,64		
Schmidt Harold	47,48	1982	187	82	25	44,92	2,56	20,68	1:44,83		Typ: 400H	47,98i
Young Kevin (USA)	46,78	1992	193	72	26	45,11	1,67		1:51,42	13,65	Typ – wytrzymałościowy	
Phillips Andre (USA)	47,19				29	44,71	2,48	20,51		13,25		
Dia Ba Amadou	47,23	1988	190	72	30	45,78	2,55				HJ - 215	46,74i
Wcześniej skoczek wzwyż. Typ – wszechstronny												
Clement	47,24	2005	188	84 Z	20	44,48	2,76	10,23/20,49		13,78		20,40i, 44,57i WR
Warholm Karsten(NOR)	45,94	2021	187	78	25	44,87	1,07	10,52/21,09		14,30	HJ-205, LJ-766,Dec-7764	60i-6,75, 100i-10,49, 400i-45,05
Dos Santos Alison (BRA)	46,29	2022	190	75	22	44,54	1,75	21,96			Typ – wielobojowy	46,29i
Dawniej (w wieku kadeta i juniora) wieloboiista. Pierwszy człowiek, który pokonał granicę 46 s na 400H. Typ – wielobojowy												
Typ – 400H												

Dane wskazują na duże zróżnicowanie typów sprawnościowych płotkarzy. Obecnie dominują płotkarze ze znacznymi osiągnięciami w biegu na 400 m (bez płotków). Typ „techniczny”, specjalizujący się wcześniej na dystansie 110 m przez płotki wydaje się typem historycznym. Kariera płotkarska Karstena Warholma udowadnia pozytywnego wpływu treningu wieloboju na początku kariery sportowej.

Podstawowym miernikiem przygotowania motorycznego płotkarza na 400 m przez płotki jest test wytrzymałości biegowej o charakterze glikolitycznym, czyli rekordowy czas w biegu na 400 m (bez płotków). Pomimo, iż korelacja wyników tych dwóch dystansów jest wysoka, zdarzają się płotkarze nie uczestniczący w rywalizacji na dystansie płaskim.

Jednym z elementów oceny przygotowania technicznego płotkarzy są wskaźniki poziomu techniki (WPT) nazywane także indeksem techniki (IT). Wzory na ocenę skuteczności techniki płotkarskiej jest kilka; oto niektóre z nich:

1. WPT (I) = $T400H - T400$ (...)
2. WPT (II) = $T400H/T400$ (...)
3. WPT (III) = $(T400*100)/T400H$ (...)

Wyniki podstawowych statystyk podano w tabeli 3.11.

Tabela 3.1.11.

Wskaźniki poziomu techniki w kontekście poziomu sportowego i wyników w biegu na 400 m

Zmienna	x	SD	Min-max	Med	Sk	Kur
1. Wynik 400mH (s)	48,07	0,67	46,78-50,45	48,00	0,53	-0,05
2. Wynik 400m (s)	45,95*	0,84	44,05-48,04	46,03	0,09	-0,23
3. WPT (I) (s)	2,09	0,70	0,18-4,04	2,17	-0,48	0,62
4. WPT (II)	1,045	0,015	1,00-1,08.	1,05	-0,42	0,26
5. WPT (III) (%)	4,58	1,55	0,38-9,08	1,55	-0,35	0,46

* – wśród płotkarzy byli zawodnicy, którzy nie startowali na dystansie płaskim

Klasyczna teoria sprawności biegowej płotkarzy na 400 m nawiązywała do dwóch dystansów – 110 m przez płotki i 400 m bez płotków (Dołgij 1980, 1981). Dołgij wcześniej (1976) wykazał znaczącą korelację (na poziomie $r = 0,7$) ze wszystkimi pokrewnymi biegami – 100, 200, 400, 110 m i 200 ppł. Obecnie płotkarze koncentrują się głównie na konkurencji docelowej, dlatego powtórzenie tych analiz wydaje trudne.

Podobne analizy (w grupie początkujących płotkarzy) przeprowadzili Danišova i wsp. (1979). Wśród parametrów istotnych w predykcji wyniku na 400 m ppł są – długość kończyny dolnej i wynik w sprawdzianie dziesięcioskoku z miejsca.

Poszukując najbardziej przydatnych wskaźników mistrzostwa sportowego w biegu na 400 m przez płotki Guzman (2013) sprawdził 3 wskaźniki:

- T400mH -PB400 m = 2,5-3,0 s,
- TPB200 m + 2 s = TI200H,
- TII200H - TI200H = 2-3 s.

Wg analizy (skromnej, tylko 10. najlepszych płotkarzy świata), najbardziej wiarygodnym wydaje się wskaźnik trzeciej, czyli minimalna strata czasu w drugiej części dystansu ($r = 0,71$). Analiza korelacji wykazała wysoką ($r = 0,97-0,99$) zależność między przyjętymi wskaźnikami poziomu techniki. Wobec tego, bez względu na przyjęty wariant WPT wyniki pozostałych analiz z tym parametrem będzie podobny. W ostatecznej analizie przyjęto najczęściej stosowany WPT_I.

Wyraźny związek dystansów 400 m i 400 m przez płotki potwierdzał w zwartych publikacjach Olivier Belloc (1988, 1990). Autor ten jako wskaźnik mistrzostwa technicznego („Indice plat”) wykorzystywał stosunek wartości T400mH/T400.

Typ sprawnościowy płotkarza na 400 m dotyczy nie tylko rezultatów uzyskanych w pokrewnych konkurencjach lekkoatletycznych (głównie 100, 200, 400 m oraz 110 m przez płotki). Ale także wyników testów „treningowych”. Ałabin i wsp. (1972) dołącza do tego zestawu bieg na 600 m i 200 m przez płotki (dystans już zaniechany). Arakelian i Mirzozew (1997) uwzględniają skoki z miejsca (skok w dal, trójskok i dziesięcioskok) oraz „techniczność”, czyli przyjęty w pracy WPT. Czy jednak WPT ma związek z poziomem wyników? Wyniki analizy korelacji przedstawiono w tabeli 3.1.12.

Tabela 3.1.12.

Współczynniki korelacji między WPT_I a wybranymi zmiennymi strategii biegu na 400 m przez płotki

Zmienna	r	Zmienna	r
T400mH	0,09	N ₁₋₁₀	0,12
T _{1-10H}	0,13*	N ₁₋₅	0,02
BH	-0,19**	N ₆₋₁₀	0,20**
BW	-0,03	Zmiany rytmu	0,02
BMI	0,20**	%Odd	-0,03
T ₁₋₅	0,01	%Even	0,03
T ₆₋₁₀	0,15*		

Dane wskazują na brak zdecydowanych zależności między przygotowaniem technicznym a poziomem wyników. Wyniki analizy wskazują jednak na fakt, iż słaba technika (wysoki WPT) to domena płotkarzy o wysokim BMI, co skutkuje zwiększeniem „rytmu” kroków w drugiej części biegu.

Tabela 3.1.13.

Analiza wariancji (ANOVA) grup płotkarzy o różnej wartości WPT₁

Zmienna	ANOVA	WPT			F	p
		A (0-1,99)	B (2-2,49)	C (≥2,50)		
T400mH	-	48,19±3,19	48,58±0,74	48,78±0,75	1,17	0,31
T1-10H	AC BC	37,22±0,59	37,20±0,62	37,48±0,63	5,03	0,007
BH	AB BC	186,54±6,55	187,91±5,51	185,19±4,83	5,32	0,005
BW	BC	76,19±5,79	75,66±5,74	77,84±5,76	3,17	0,04
BMI	AB AC	21,89±1,04	22,36±1,03	22,68±1,12	13,24	0,000
T1-5	-	15,42±0,38	15,38±0,34	15,42±0,36	0,47	0,62
T6-10	AC BC	17,71±0,40	17,73±0,34	17,90±0,35	6,13	0,002
N1-5	-	52,98±2,35	53,46±2,55	52,93±2,10	1,43	0,24
N6-10	AB	56,87±2,55	58,01±1,96	57,44±2,59	5,61	0,004

Podział płotkarzy na trzy grupy, w zależności od wielkości WPT (tabela 3.1.13.) pozwala ocenić strategię biegu w grupach płotkarzy o zróżnicowanej technice. W ocenie finalnego czasu biegu wskaźnik nie ma znaczenia. Istotne wyniki dotyczą głównie różnic w obszarze budowy ciała (wysocy i szczupli są lepsi technicznie) oraz czasowych i przestrzennych parametrów drugiej części dystansu. (T6-10 oraz N6-10).

Wnioski

1. Rekordowe osiągnięcia w biegu na 400 m (bez płotków) są znaczącym handicapem w osiągnięciu wysokiej klasy wyników w biegu przez płotki. Należy jednak zauważyć, że inne przejawy zdolności motorycznych (typ szybkościowy i wszechstronny) mogą w znacznej części zastąpić zdolności w obszarze wytrzymałości specjalnej (beztlenowej).
2. Wskaźnik poziomu techniki, a tym samym przygotowanie techniczne płotkarzy ma istotne znaczenie w drugiej części biegu.

Wnioski aplikacyjne

1. Organizacja treningu wytrzymałości beztlenowej (specjalnej dla płotkarzy na 400 m) powinna odbywać się dwutorowo – bez płotków oraz w zakresie tzw. wytrzymałości rytmowej.
2. Technika biegu przez płotki na dystansie 400 m powinna być kształtowana w warunkach zmęczenia o charakterze glikolitycznym.

Piśmiennictwo*

- Adamczyk i wsp. 2010
 Harrison T. 1991 Kriss Akabusi on track. A Lion Book, Oxford.
 Ałabin i wsp. 1972
 Arakelian i Mirzozjew 1997
 Belloc 1988, 1990
 Danisova i wsp. 1979
 Dołgij 1976, 1980
 Iskra 1999a, 2012ab, 2014c

Iskra i Pietrzak 2014
Iskra i wsp. 2014
Iskra i Walaszczyk 1994
Khosla 1978
Kostial i Matousek 1977
Quarcetani 2009
Sedeaud i wsp. 2014
Spiriev 2005
Tanner 1964

Piśmiennictwo uzupełniające

Ałabin i wsp. 1974
ZHANG 2002

*Pełna identyfikacja źródeł na końcu pracy

3.2. Podstawowe zmienne czasowe – „split times”

Wprowadzenie

Podstawą analizy strategii biegu na 400 m przez płotki jest analiza podstawowych zmiennych czasowych, czyli podział dystansu na 11 części oddzielonych płotkami. W tej grupie mieszczą się trzy elementy: dobieg do pierwszego płotka (ang. „*approach*”), 9 odległości między płotkami (35 m) oraz odcinek finiszowy, od ostatniego płotka do mety (ang. „*run-in*”). W analizach struktury czasowej najczęściej wykorzystywane są czasy odcinków między płotkami, nazywanymi różnorodnie – „tempem biegu”, „*rhythm cart*” (McFarlane 2004), „*dynamics of run*” (Ivan i Gheorghie 2018), czy, w większości przypadków – „*split times*”.

Dokładna analiza czasu biegu z uwzględnieniem pokonywania kolejnych dziesięciu płotków była możliwa m.in. dzięki precyzyjnej aparaturze pomiarowej a także urządzeniom (Hayek 2012, ostatnio: Falbriard i wsp., Ha-meed i wsp. 2020). Przełomowym wydarzeniem w ocenie strategii czasowej biegu na 400 m przez płotki były Igrzyska Olimpijskie w Meksyku, gdzie 15. października 1968 r. Anglik David Hemery ustanowił rekord świata, bijąc poprzedni aż o 0,7 s (Iskra 2005). Dokładną analizę międzyczasów uczestników tego biegu przedstawili Hemery i Houdson (1969). Późniejsze próby analizy obejmowały wiele pozycji piśmiennictwa (m.in. Le Masurier 1977, Moravec i Susanka 1986, Morita i Igarashi 1992, Matousek and Sedlacek 1985, Susanka i wsp. 1988, Moravec i wsp. 1990, Moriarka 1997, Müller i Hommel 1997, Brüggemann i Müller 1999, Ditroilo i Marini 2000, REN 2005, Babić i wsp. 2014). Poza analizami struktury czasowej biegu płotkarzy w czasie najważniejszych imprez wielu autorów starało się ustalić „modelowe” rozwiązania (Susanka i Ziegler 1973, Ałabin i wsp. 1974, McFarlane 1977, Bozow 1982, Railsback 1990, Stepanek i wsp. 1990, Bowerman i Freeman 1991, Boyd 2000).

Standardowe pomiary czasowe 9 odcinków od „zejścia” z jednego płotka do postawienia stopy nogi atakującej za następnym stały się kanonem analizy czasowej w biegu na 400 m przez płotki od lat 50. XX wieku. Wielu autorów, wykorzystując możliwości aparaturowe, do analizy „*split times*” dołącza się czasy reakcji (RT) – (Joch i Hasenberg 1990, Martin i Buonoriatiani 1995, Ditroilo i Kilding 2004, Babić i Delalija 2009).

3.2.1. Podstawowe statystyki

Dane zawarte w tabeli 1 wskazują na jednoznaczny fakt – strategia czasowa w wykonaniu najlepszych płotkarzy świata w ostatnich 50 latach opiera się na przyspieszeniu (= stopniowy wzrost prędkości) jedynie do pierwszego płotka a następnie stopniowe obniżanie prędkości biegu. Przez

355 m płotkarz „walczy” ze stratami prędkości. Straty te można podzielić na 2 etapy:

- do 4-5 płotka zawodnik realizuje strategię przestrzenną, a umiarkowane (nie – maksymalne) tempo biegu spowodowane jest świadomością znacznego zmęczenia w ostatniej części biegu. Ten fragment biegu określany jest jako „*transition*” (= przejście, zmiana) a także „*float*” (= płynąć, unosić się).
- druga część biegu to gwałtowny wzrost zmęczenia o charakterze glikolitycznym (Gupta i wsp.1999, Zauhal i wsp. 2010), co skutkuje wyraźnym wzrostem czasu biegu w kolejnych jego fragmentach.

Różnica 0,9 s (4,66–3,76 s) wskazuje na specyficzne spojrzenie na strategię czasową w biegu na 400 m przez płotki. Te 80% prędkości maksymalnej wskazuje na odmienne traktowanie biegu nie tylko z empirycznego, ale także szkoleniowego punktu widzenia.

Tabela 3.2.1.

Podstawowe parametry czasowe (1PJ) – n = 277-294

Zmienna	x	SD	Min-max	Med	Sko	Kur	r
RT*(ms)	189,05	50,82	121-437	176	2,54	8,60	0,11 ^{NS}
t0-1(s)	6,00	0,12	5,60-6,42	6,00	-0,16	0,24	0,36**
t1-2	3,76	0,12	3,50-4,31	3,76	-0,16	0,25	0,41
t2-3	3,80	0,12	3,50-4,40	3,80	0,67	1,59	0,42
t3-4	3,88	0,12	3,60-4,40	3,90	0,86	2,21	0,46
t4-5	3,97	0,11	3,64-4,42	4,00	-0,01	0,75	0,55
t5-6	4,10	0,11	3,80-4,55	4,10	0,48	0,84	0,52
t6-7	4,24	0,11	3,96-4,60	4,20	0,06	0,15	0,53
t7-8	4,36	0,11	4,00-4,70	4,36	0,01	0,15	0,61
t8-9	4,51	0,12	4,26-4,90	4,50	0,32	-0,07	0,63
t9-10	4,66	0,15	4,38-5,40	4,64	0,72	1,53	0,58
t10-F	5,34	0,29	4,70-6,80	5,30	1,19	3,17	0,45

*-n = 148, **-wszystkie zależności istotne na poziomie p ≤ 0,001

Analiza czasów (pośrednio – prędkości; patrz dalsze rozdziały) podstawowych jednostek płotkarskich wskazuje na wzrost czasu pokonywania kolejnych JP już od drugiego płotka. Najlepsi płotkarze świata pierwszy odcinek (t1-2) pokonują w czasie $3,76 \pm 0,12$ s, ostatni (t9-10) średnio o 0,9 s wolniej ($4,66 \pm 0,15$ s) – tabela 3.2.1. Prędkość biegu wzrasta do odcinka „wyjścia” na pierwszą prostą (h1-2) i systematycznie opada aż do mety. Na dobiegu płotkarze uzyskują prędkość $7,51 \pm 0,16$ m/s, a po uzyskaniu prędkości maksymalnej ($9,33 \pm 0,30$ m/s) parametr ten spada aż do mety. Charakterystyczne, że prędkość biegu w czasie przyspieszenia startowego (h0-1) jest identyczna z prędkością biegu na finiszu (h10-F) – odpowiednio $7,51 \pm 0,16$ oraz $7,50 \pm 0,38$ – patrz późniejszy rozdział.

Dane zawarte w tabeli 3.2.1. dowodzą dużej różnorodności struktury czasowej (*touchdown times*) badanej grupy. Różnice, oceniane parametrem SD są podobne (0,11-0,12) aż do ostatnich odległości między płótkami (t9-10; 0,15 s- różnica 1,02 s), a szczególnie na odcinku finiszowym (SD = 0,29 s; różnica bezwzględna przekraczająca 2 s). Różnice te podkreślają wskaźniki skośności i kurtozy.

Analiza czasu reakcji nie kwalifikuje tego parametru jako ważnego z punktu widzenia ostatecznego wyniku (NS). Kolejne odcinki czasowe są decydujące, z akcentem na odcinki t4-5 (końcowy fragment pierwszej prostej) oraz fragment „wyjścia z wirażu” (t7-8 i t 8-9). Fragmenty te są związane z koncepcją zmian rytmu płótkarskiego (patrz dalsze rozdziały) i mają ważny wpływ na opracowanie strategii biegu.

Istotnym elementem analizy jest fakt, iż czasy pokonania fragmentów biegu bez płótków mają najmniejsze znaczenie w końcowym wyniku.

Indywidualna strategia biegu sprawia, że często zawodnicy największą prędkość uzyskują na pierwszej prostej (t2-3) a najwolniejszy odcinek dotyczy odległości przedostatniej (t8-9). Uwzględniając te wyniki wyodrębniono odcinki najszybsze (t_{fastest}) a także najwolniejsze (t_{slowest}) w tej analizie – tabela 3.2.2. Decydujące odnośnie czasu finalnego są odcinki końcowe, z wyszczególnieniem odcinka najwolniejszego i przedostatniego.

Tabela 3.2.2.

Wybrane, podstawowe jednostki płótkarskie (1JP) – n = 274-294

Zmienna	x	SD	Min-max	Med	Sko	Kur	r/r*
t _{first}	3,76	0,12	3,50-4,31	3,76	0,67	1,59	0,41
t _{second}	3,80	0,12	3,50-4,40	3,80	0,56	1,95	0,42
t _{fastest}	3,73	0,10	3,50-4,00	3,72	0,06	-0,48	0,44
t _{penultimate}	4,51	0,12	4,26-4,90	4,50	0,32	0,63	0,63
t _{last}	4,66	0,15	4,38-5,54	4,64	0,72	0,58	0,58
t _{slowest}	4,66	0,15	4,38-5,40	4,64	0,72	0,59	0,59

*- r 1-1

Poszukując uproszczenia analizy czasowej poszczególnych (=9) fragmentów biegu między płótkami liczni autorzy decydują się na oceną czasu biegu wybierając jednostki płótkarskie o charakterze skrajnym. Najczęściej analizy dotyczą pierwszej i ostatniej jednostki płótkarskiej (t_{first} oraz t_{last}) a także najszybszego i najwolniejszego fragmentu biegu (t_{fastest} oraz t_{slowest}). Zważywszy, że często najszybszą jednostką płótkową jest odcinek drugi, a najwolniejszą przedostatni, w analizie uwzględniono także te elementy (t_{second} oraz t_{penultimate}) – tabela 3.2.2.

Dane zawarte w tabeli 3 wskazują na istotne ($p \leq 0,01$) znaczenie w kontekście końcowego rezultatu. Charakterystycznym jest fakt, iż najbardziej istotnymi parametrami są czasy jednostki najszybszej (t_{fastest}; r = 0,44) oraz czasu przedostatniego odcinka (t_{penultimate}; r = 0,63).

Pierwsza zmienna świadczy o maksymalnych możliwościach płotkarza (najszybsza w analizie to 3,50 s), druga o minimalnej stracie prędkości biegu na ostatniej prostej (najszybsza w badanej grupie to 4,26 s). Znamienym jest fakt, że decydującym fragmentem biegu jest odcinek nie najwolniejszy, lecz przedostatni (h8-9). Powodem takiego stanu rzeczy jest fakt, iż często płotkarze mobilizują swoje siły na końcowym odcinku, a inni, za szybko pokonujący pierwszą fazę biegu, wyraźnie słabną na ostatniej prostej.

Analiza korelacji

Analiza korelacji wskazuje, że decydujące fragmenty biegu to odcinek między 4. a 5. płotkiem (końcówka biegu na pierwszej prostej) oraz przestrzeń „wyjścia” na ostatnią prostą (= t7-8 oraz t8-9). To ważne informacje dla szkoleniowców, ustalających trening tzw. „rytmowy” (Warburton 1985, Iskra 2012, 2013). W kontekście danych zawartych w tabeli 3.2.1. kluczowe wydają się dwie odległości między płotkami – h7-8 oraz h8-9 (r = odpowiednio 0,61 i 0,63 (tabela 3.2.1.).

Oceniając zmiany czasu pokonywania kolejnych jednostek płotkarskich (1JP) można posługiwać się wymiennie zmianami prędkości biegu. Taka procedura ułatwia graficzne przedstawienie czasowej struktury biegu (patrz dalsze rozdziały). W poszukiwaniu związków między czasem pokonania kolejnych jednostek płotkarskich (1JP) zaobserwowano wysokie związki wyłącznie między odcinkami sąsiednimi (np. t9-10-t8-9; r =0,63). Im dalsza odległość między JP, tym zależności maleją.

W końcowej części dystansu związki między czasem ostatnich odcinków i początkowych są ujemne (np. t9-10 a t1-2, t2-3, t3-4 – odpowiednio r = -0,11, -0,15, -0,09 (tab. 3.2.3.). Zależność między t5-6 i t6-7 jest znaczna, jednakże nie w pełni upoważnia do, często stosowanego w częściowych analizach, pominięcia odcinka h5-6 (np. T1-5 i T6-10 – patrz dalej). Analiza czasowa najczęściej wykorzystywana jest w ocenie fragmentów odcinków. Ułatwia to nie tylko pomiar, ale interpretację wyników z trenerskiego punktu widzenia.

Tabela 3.2.3.

Współczynniki korelacji między czasem kolejnych jednostek płotkarskich (1JP)

	T0-1	t1-2	t2-3	t3-4	t4-5	t5-6	t6-7	t7-8	t8-9	t9-10	t10-F
t0-1	-										
t1-2	0,40	-									
t2-3	0,25	0,50	-								
t3-4	0,13	0,39	0,48	-							
t4-5	0,13	0,30	0,44	0,58	-						
t5-6	0,16	0,31	0,40	0,33	0,44	-					
t6-7	0,18	0,15	0,12	0,24	0,22	0,42	-				
t7-8	0,19	0,12	0,11	0,14	0,27	0,29	0,41	-			
t8-9	0,10	0,01	0,09	0,08	0,13	0,17	0,33	0,50	-		
t9-10	-	-	-	-	0,06	0,07	0,21	0,36	0,63	-	
t10-F	0,03	0,09	0,05	0,02			0,01	0,20	0,37	0,57	-
T400H	0,36	0,41	0,42	0,46	0,55	<u>0,52</u>	<u>0,53</u>	0,61	0,63	0,58	<u>0,45</u>

$r = 0,19$; $p \leq 0,001$, $r = 0,16$, $p \leq 0,001$, $r = 0,13$, $p \leq 0,05$

Każdy z podstawowych odcinków czasowych (1JP) ma wysoce istotny ($p \leq 0,001$) wpływ na końcowy wynik. Najważniejsze, z punktu widzenia czasowej struktury biegu, wydają się dwa fragmenty – końcowy fragment pierwszej prostej (t4-5; $r = 0,55$) oraz odcinek wyjścia na ostatnią prostą (t7-8 oraz t8-9; $r = 0,61$ oraz $0,63$).

Wynik analizy korelacji dowodzi, że szybki dobieg wiąże się nie tylko z wysoką prędkością biegu na pierwszej prostej ale również czasem pokonania końcowego fragmentu drugiego wirażu. Niestety dynamiczny pierwszy fragment biegu może mieć negatywny wpływ na odcinek finiszowy.

Zauważa się wyższe korelacje granicznych jednostek płotkarskich głównie w drugiej części biegu. Współczynnik korelacji między t5-6 a t6-7 (często wykorzystywane wymiennie w różnych publikacjach) wynosi $r = 0,44$ ($p \leq 0,001$) – tabela 3.2.3.

Tabela 3.2.4.

Czasowe zmienne podstawowe i łączone (tabela pozioma) – korelacje

JP	1JP	2JP	3JP	4JP	5JP	6JP
t1-2	t2-3 (0,51)	t1-3 (0,88)	t1-4 (0,79)	t1-5 (0,73)	t1-6 (0,70)	t1-7 (0,67)
t2-3	t1-2 (0,51)	t1-3 (0,87)	t1-4 (0,83)	t1-5 (0,79)	t1-6 (0,80)	t1-7 (0,73)
t3-4	t4-5 (0,58)	t1-3 (0,90)	t2-5 (0,85)	t1-5 (0,80) t2-6 (0,79)	t1-6 (0,77) t2-7 (0,76)	t1-7 (0,75)
t4-5	t2-3 (0,59)	t3-5 (0,88)	t2-5 (0,82)	t2-6 (0,80)	t2-7 (0,76) t1-6 (0,75) t3-8 (0,73)	t2-8 (0,74) t1-7 (0,73)
t5-6	t4-5 (0,45) t6-8 (0,45)	t5-7 (0,85) t4-6 (0,85)	t4-7 (0,82)	t3-7 (0,75) t4-8 (0,76)	t2-7 (0,74) t3-8 (0,73)	t2-8 (0,73)

t6-7	t5-7 (0,43) t7-8 (0,41)	t5-7 (0,84) t6-8 (0,84)	t5-8 (0,80)	t5-9 (0,75) t4-8 (0,72)	t4-9 (0,70)	t3-9 (0,67)
t7-8	t8-9 (0,50)	t7-9 (0,85) t6-8 (0,84)	t6-9 (0,81)	t5-9 (0,77) t6-10 (0,74)	t4-9 (0,74) t5-10 (0,73)	t4-10 (0,72)
t8-9	t9-10 (0,63)	t7-9 (0,88) t8-10 (0,88)	T7-10 (0,87)	T6-10 (0,83)	T5-10 (0,79)	T4-10 (0,74)
t9-10	t8-9 (0,63)	T8-10 (0,92)	T7-10 (0,85)	T6-10 (0,78)	T5-10 (0,71)	T4-10 (0,66)

Odcinki podstawowe w początkowej części dystansu (t1-2, t2-3 a nawet t3-4) w pełni zastępuje parametr t1-3.

Odcinki h5-6 oraz h6-7 to ważne łączniki między odcinkami wcześniejszymi (h4-5) i późniejszymi (h7-8). Powiązania z „granicznymi” jednostkami płotkarskimi są najniższe w porównaniu z początkowym i końcowym fragmentem biegu. Dowodzi to specyfiki tego odcinka, ściśle usytuowanego na drugim wirażu.

Najbardziej powiązane ze sobą JP to odcinki końcowe biegu (H8-10). Można zaryzykować twierdzenie, że te odcinki, często wbrew powszechnej opinii, są najbardziej przewidywalne.

Podsumowanie

Problem taktyki biegów lekkoatletycznych poruszany jest w wielu pracach dotyczących głównie dystansów o dłuższym czasie trwania (Tucker i wsp. 2006, Noakes i wsp. 2009).

W odniesieniu do dystansów 400/400 m ppł strategia biegu sprowadza się do właściwego ułożenia tempa biegu, gdyż z fizjologicznego punktu widzenia zasoby energetyczne pozwalające na kontynuowania wysiłku o maksymalnej intensywności wyczerpują się już po 5–7 s (Gupta i wsp. 1999, Zauhal i wsp. 2010).

Dystans 400 m przez płotki określany jest jako konkurencja o charakterze glikolitycznym z koniecznością opracowania złożonych struktur technicznych (Iskra 2012, 2013). Tradycje analiz strategii biegu na 400 p przez płotki dotyczą struktury czasowej (*temporal structure*) i parametrów przestrzennych (*space factors*), utożsamianych głównie jako liczba kroków wykonywanych między kolejnymi płotkami (tzw. *hurdle units*).

Gromadzony systematycznie materiał (54 lat analiz) pozwala na pełną analizę strategii biegu z uwzględnieniem jego czasowej struktury. Autorzy dotychczasowych prac nie są zgodni co do wyboru tych parametrów, które mają decydujące znaczenie w aspekcie końcowego wyniku.

Najczęściej analizie podlegają tzw. *split times*, czyli czasy będące sumą pokonywania kolejnych odległości między płotkami. Jak wykazały wcześniejsze badania im bliżej mety, tym korelacja czasu biegu na poszczególnych etapach z wynikiem końcowym jest bardziej znacząca (Matousek i Sedlacek 1985, Iskra 2008, Behm 2014). Dla przykładu: w pracy Iskry

(1996) związek czasu pokonywania 3. płotka z wynikiem na 400 m ppł wynosił 0,60 a 8. płotka 0,88.

W pracy wykorzystano dwa warianty analizy „*split times*” – tradycyjny, uwzględniając cały dystans (łącznie z dobiegiem do pierwszego płotka i dystansu od ostatniego płotka do mety, run in) oraz wariant 2, obejmujący wyłącznie bieg między płotkami. To ostatnie spojrzenie na problem strategii biegu na 400 m przez płotki wynosi element ściśle związany z biegiem przez płotki. Wariant 2 szczególnie różnicuje parametry podstawowe, przedstawione poniżej.

Dane uwzględniające obszerny (ponad 50 lat analiz i blisko 300 biegaczy) potwierdzają wcześniejsze, cząstkowe analizy. Niektóre z prac uwzględniają kolejne fragmenty a autorzy analizują najmniejsze części biegu („*hurdle units*”) – od Matousek i Sedlacek (1985) do Iskra (2013). Taka procedura ma na celu poszukiwania najważniejszych 35-metrowych odcinków. Wyniki wcześniejszych analiz wskazują, że trudno jednoznacznie stwierdzić, który z tych fragmentów może być podstawowym kryterium mistrzostwa sportowego.

W badaniach dowiedziono, że najbardziej informacyjne odcinki biegu to *hurdle units* 7–8 h ($r = 0,60$) oraz 8–9 h ($r = 63$). Informacja ta ma istotne znaczenie w organizacji treningu, który w grupach zawodników wysokiego poziomu zaawansowania decydujące znaczenie tzw. „wyjście z wirażu”, czyli końcowy odcinek drugiego wirażu i pierwsza część ostatniej prostej (tabela 2). Najważniejsze informacje o strategii pokonywania płotków bez uwzględnienia biegów – bez płotków „*flat*” (S1 h oraz 10 h – F) sugerują przesunięcia znaczenia *hurdle units* do odległości 5–6 h oraz 6–7 h. Wobec tego najważniejszy, z punktu widzenia biegu wyłącznie przez płotki, jest początek drugiego wirażu, kiedy (1) prędkość biegu spada, (2) następują zmiany rytmu kroków oraz (3) znacznie wzrasta zmęczenie o charakterze beztlenowym. Takie wnioski potwierdzają także trenerzy najlepszych zawodników (Lindeman 1995, Dakin 2003, Mc Farlane 2004, Iskra 2013, Hiserman 2011).

Ciekawych informacji dostarcza analiza poszczególnych, krótkich fragmentów biegu, uwzględniających kolejne części dystansu (pierwszy wiraż – pierwsza prosta – drugi wiraż – druga/ostatnia prosta) i ich odpowiedniki w nomenklaturze treningowej.

Dane dowodzą, że w kontekście całości dystansu, wszystkie krótkie części biegu mają istotny wpływ na końcowy wynik, z akcentem na ostatnie fragmenty biegu (8h-F).

W tym miejscu należy podkreślić ważną pozycję części biegu bez pokonania płotków (dobieg do pierwszego płotka i odcinek finiszowy). Sprzeczne ze sobą części wysiłku fizycznego (bez zmęczenia i w czasie skrajnego wyczerpania) mają istotne statystycznie znaczenie (odpowiednio $r = 0,46$ i $0,45$).

Ta informacja dowodzi złożoności konkurencji i konieczności stosowania różnorodnych środków treningowych. Analiza według wariantu 2 wskazuje jednak, że skuteczność pokonania płotków na drugim wirażu (h_{5-7} oraz h_{6-8}) ma decydujące znaczenie w biegach przez płotki.

Wobec powyższego tzw. „technika płotkarska” często w biegu na 400 m przez płotki utożsamiana z „*hurdle rhythm*” to serce tej konkurencji lekkoatletycznej ($r = 0,71 - 0,73$).

Wnioski

1. Strategia równego tempa w biegu na 400 m przez płotki jest utopią. Już po pierwszym płotku prędkość biegu systematycznie spada.
2. Analiza czasu kolejnych jednostek płotkarskich wskazuje na wyraźny podział specyfiki biegu na dwie części, związane ze wzrostem zmęczenia.
3. Największy związek z końcowym wynikiem ma minimalny czas trzech jednostek płotkarskich, związanych ze zmianami „rytmu” kroków. Odcinek 4-5H to wskaźnik możliwości kontynuowania biegu w rytmie 13-krokowym, a odległość między 7. a 9. płotkiem to sztuka zmian rytmu przy wzrastającym zmęczeniu.
4. Wyniki analizy korelacji między jednostkami płotkarskimi wskazują na dwie odrębne strategie – szybkiego początku biegu i skutecznego odcinka finiszowego. Wydaje się, że obydwie te strategie wykluczają się.
5. Zależność między czasem pokonania granicznych jednostek płotkarskich maleje w środkowej części dystansu. Ten fragment biegu jest najbardziej nieprzewidywalny.

Wnioski aplikacyjne

1. Środki treningowe w obszarze treningu „rytmowego” w treningu płotkarskiego wysokiego poziomu zaawansowania powinny obejmować głównie odcinki pokonywane na zmęczeniu o charakterze beztlenowym.
2. Specyfika biegu wymaga podziału ćwiczeń na szybkościowe (pierwsza część dystansu) oraz wytrzymałościowe.
3. W treningu „rytmowym” należy zwrócić szczególną uwagę na końcowy odcinek pierwszej prostej i „wyjście” z drugiego wirażu.
4. Zmiany czasowe zawsze należy łączyć ze strukturą przestrzenną. Dotyczy to głównie środkowej części biegu, w której najczęściej następuje zmiana liczby kroków.

Piśmiennictwo*

- Babić i Delalija 2009
Babić i wsp. 2014
Behm 2014
Bozow 1982
Brüggemann and Müller 1999,

Dakin 2003,
Ditroilo i Marini 2000,
Falbriard i wsp. 2020,
Gupta i wsp. 1999,
Hameed i wsp. 2020,
Hayek 2012,
Hemery i Houdson 1969,
Hiserman 2011,
Iskra 1996, 2005, 2008, 2012, 2013, 2019,
Iskra J., Przednowek K. 2019,
Ivan i Gheorghe 2018,
Le Masurier 1977,
Lindeman 1995,
Matousek i Sedlacek 1985,
McFarlane 2004
Moravec i Susanka 1986,
Moravec i wsp. 1990,
Moriarka 1997,
Morita i Igarashi 1992,
Müller i Hommel 1997,
Noakes i wsp. 2009,
Ozakii i Ueda 2019,
REN 2005
SI 1990
Susanka i wsp.. 1988,
Tucker i wsp. 2006,
Warburton 1985,
Zauhal i wsp. 2010,

*- pełna identyfikacja piśmiennictwa na końcu pracy

3.2.2. Zmienne czasowe dodawane

Strategia czasowa biegu na 400 m przez płotki opiera się na 11 częściach dystansu (dobieg 45 m + 9x35 m + finisz 40 m). Z punktu widzenia analizy wszystkich danych trudno jest ocenić wartości poszczególnych, 35-metrowych odcinków. Klasyczny „*split times*” może być re łatwiej analizować przez dłuższe fragmenty biegu, które łatwiej interpretować, także w ujęciu praktycznym. Często łączy się dwie jednostki płotkarskie (2JP), jednakże priorytetowa jest analiz trzech fragmentów biegu (3JP) a także czterech (4JP), pozwalających ocenić trzy lub dwa („połówki”) newralgiczne fragmenty biegu.

Podstawowe statystyki

Analiza kolejnych jednostek płotkarskich (1JP) stanowi podstawę w ocenie „split times” (patrz poprzedni rozdział). Według większości źródeł (patrz poprzedni), ze względu na indywidualne zmiany a także trudności w interpretacji podstawowych zmiennych, łączenie pojedynczych jednostek płotkarskich (1JP) w większe części wydaje się wskazane.

Dwie jednostki płotkarskie (2JP)

Postępując metodycznie kolejnym etapem grupowania zmiennych jest podział dystansu na jednostki podwójne (2JP), obejmujące dystans 70 m (2 x 35 m). Grupowanie jednostek płotkarskich pozwala uchwycić większą część dystansu, co z pewnością ułatwia interpretację wyników w aspekcie szkoleniowym.

Wyodrębnienie podwójnych jednostek płotkarskich (2JP) potwierdza znaczenie drugiej części biegu, z akcentem na „wyjście” z drugiego wirażu (T7-9 oraz T6-8) – tabela 3.2.5.

Tabela 3.2.5.

Czasowe parametry dodawane – dwie jednostki płotkarskie/2JP
(dane w sekundach)

Zmienna	x	SD	Min-max	Med	Sko	Kur	r
T1-3	7,56	0,21	7,04-8,40	7,56	0,42	0,72	0,48
T3-5	7,85	0,21	7,20-8,58	7,80	0,54	0,72	0,56
T5-7	8,33	0,19	7,80-8,90	8,30	0,09	0,07	0,63
T7-9	8,87	0,20	8,30-9,43	8,88	0,08	-0,02	0,72
T2-4	7,68	0,21	7,20-8,70	7,69	0,69	1,64	0,51
T4-6	8,07	0,19	7,50-8,72	8,08	0,21	0,64	0,63
T6-8	8,60	0,19	8,16-9,20	8,60	0,08	0,01	0,68
T8-10	9,17	0,24	8,68-10,00	9,16	0,45	0,11	0,67

Podobny, wysoki związek z końcowym rezultatem występuje w zmiennych T5-7 oraz T6-8 (odpowiednio 0,63 oraz 0,68). Wydaje się, że zmienne te można, w niektórych przypadkach, traktować wymiennie.

Trzy jednostki płotkarskie (3JP)

Tabela 3.2.6.

Czasowe parametry dodawane – trzy jednostki płotkarskie/3JP
(dane w sekundach)

Zmienna	x	SD	Min-max	Med	Sko	Kur	r
T1-4	11,44	0,29	10,76-12,70	11,40	0,50	0,89	0,54
T4-7	12,31	0,25	11,61-13,18	12,30	0,18	0,35	0,71
<u>T7-10</u>	13,53	0,31	12,84-14,14	13,50	0,27	-0,16	0,74
T2-5	11,66	0,29	10,90-12,80	11,60	0,56	0,70	0,58
T5-8	12,69	0,26	12,00-13,48	12,70	0,06	0,13	0,72

T3-6	11,95	0,27	11,10-12,76	11,90	0,35	0,24	0,65
T6-9	13,10	0,27	12,47-13,92	13,10	0,12	-0,13	0,76

Najczęściej wykorzystywanym modelem analizy czasowej w biegu na 400 m przez płotki jest podział na trzy równe części, po 3 jednostki płotkarskie (3JP) – T1-4, T4-7 oraz T7-10. Czasami stosowane są inne rozwiązania – tabela 3.2.6.

Uwzględniając ten podział najważniejszym fragmentem biegu wydaje się odcinek między 7. a 10. płotkiem ($r = 0,74$) a także (rzadziej wykorzystywany parametr) T6-9 ($r = 0,76$). To odcinki drugiej części biegu łączących „wyjście z wirażu” oraz finiszowe części biegu między płotkami. Ważnym elementem analizy jest także odcinek pełnego, drugiego wirażu (T5-8).

Cztery jednostki płotkarskie (4JP)

Tabela 3.2.7.

Czasowe parametry dodawane – cztery jednostki płotkarskie/4JP
(dane w sekundach)

Zmienna	x	SD	Min-max	Med	Sko	Kur	r
T1-5	15,41	0,36	14,50-16,80	15,40	0,44	0,44	0,60
T5-9	17,20	0,33	16,40-18,27	17,20	0,12	0,02	0,80
T2-6	15,75	0,35	14,80-17,10	15,70	0,41	0,26	0,63
T6-10	17,77	0,37	16,90-18,75	17,72	0,20	-0,32	0,79
T3-7	16,19	0,33	15,37-17,26	16,13	0,37	0,17	0,71
T4-8	16,67	0,32	15,70-17,70	16,64	0,12	0,33	0,78

O końcowym wyniku w biegu na 400 m przez płotki decyduje druga część dystansu (T5-9 lub T6-10). Ważnym parametrem mistrzostwa sportowego jest także czas odcinka T4-8 obejmujący „wejście” i pokonanie drugiego wirażu (tabela 3.2.7.).

Pięć i sześć jednostek płotkarskich (5-6 JP)

Tabela 3.2.8.

Czasowe parametry dodawane- długie (5-6 JP) jednostki płotkarskie
(dane w sekundach)

Zmienna	x	SD	Min-max	Med	Sko	Kur	r
1. Pięć jednostek płotkarskich (5JP)							
T1-6	19,51	0,43	18,40-21,10	19,50	0,41	0,33	0,64
T2-7	19,99	0,41	19,09-21,40	19,90	0,40	0,02	0,70
T3-8	20,55	0,39	19,60-21,78	20,50	0,29	0,14	0,78
T4-9	21,18	0,38	20,00-22,46	21,20	0,16	0,13	0,85
T5-10	21,86	0,42	20,86-23,07	21,80	0,19	-0,21	0,83

2. Sześć jednostek płotkarskich (6JP)							
T1-7	23,75	0,48	22,70-25,40	23,70	0,44	0,16	0,70
T2-8	24,35	0,46	23,30-25,90	24,30	0,36	0,12	0,78
T3-9	25,06	0,45	23,90-26,56	25,00	0,33	0,09	0,85
T4-10	25,84	0,46	24,60-27,26	28,80	0,19	-0,22	0,89

Uwzględniając dłuższe odcinki płotkarskie, stanowiące ok. połowy dystansu (5-6 JP; 175/210 m) szczególne znaczenie ma odcinek między 4. a 9. płotkiem, obejmujący długie wejście w wiraż i długie wyjście z drugiego wirażu. To odcinek, w którym najczęściej następują zmiany rytmu płotkarskiego (tabela 3.2.8.).

Analiza korelacji

Dwie jednostki płotkarskie (2JP)

Tabela 3.2.9.

Współczynniki korelacji między podwójnymi (2JP) jednostkami płotkarskimi (n = 273-275)

	T1-3	T3-5	T5-7	T7-9	T2-4	T4-6	T6-8	T8-10
T1-3	-							
T3-5	0,52	-						
T5-7	0,35	0,41	-					
T7-9	0,11	0,20	0,42	-				
T2-4	0,78	0,83	0,39	0,15	-			
T4-6	0,49	0,77	0,73	0,30	0,60	-		
T6-8	0,17	0,28	0,75	0,76	0,21	0,42	-	
T8-10	-0,01	0,08	0,25	0,79	0,03	0,15	0,45	-

Dane wskazują, że szybki początek biegu (T1-3, T2-4) wiąże się z problemami związanymi ze znacznym obniżeniem prędkości biegu na ostatniej prostej (T8-10). Zmienna T2-4 (=bieg na pierwszej prostej) ma wysoki związek z dwoma parametrami pierwszej części biegu (T1-3, T3-5). Z punktu widzenia wyboru parametrów ważny jest wysoki związek T5-7 oraz T6-8 ($r = 0,75$, $p \leq 0,001$) a także T7-9 oraz T8-10 ($r = 0,79$, $p \leq 0,001$) – tabela 3.2.9

Trzy jednostki płotkarskie

Tabela 3.2.10.

Współczynniki korelacji między trzema jednostkami płotkarskimi (3JP)

Zmienne	T1-4	T4-7	T7-10	T2-5	T5-8	T3-6	T6-9
T1-4	-						
T4-7	0,55	-					
T7-10	0,05	0,34	-				
T2-5	0,88	0,69	0,13	-			
T5-8	0,36	0,86	0,57	0,40	-		
T3-6	0,76	0,86	0,19	0,90	0,60	-	
T6-9	0,19	0,61	0,85	0,25	0,84	0,35	-

Analiza korelacji wykazała brak związków między czasem biegu w pierwszej (T1-4) i trzeciej części (T4-10) – $r = 0,05$. Skazuje na możliwości wymiennego wykorzystywania różnych w zależności od analizowanego problemu. Dla przykładu – T1-4/T2-5 – $r=0,88$ (pierwsza część biegu), T3-6/T4-7/T5-8 – $0,84-0,86$ czy T6-9/T7-10 – $r=0,85$ – tabela 3.2.10.

Analiza korelacji między wszystkimi potrójnymi (3JP) jednostkami płotkarskimi nie wykazała związków między pierwszą (T1-4) i końcową (T7-10) częściami biegu ($r = 0,05$, NS). Zależności sąsiadujących części są istotne – wyższe między pierwszą i drugą częścią (0,55) w porównaniu do części środkowej i końcowej (0,34). Dane wskazują, że łatwiej ustalać strategię i wzajemne powiązania tempa i rytmu biegu w pierwszej jego części niż w biegu w dalszej części dystansu.

Cztery jednostki płotkarskie (4JP)

Tabela 3.2.11.

Współczynniki korelacji między czterema jednostkami płotkarskimi (4JP)

Zmienne	T1-5	T5-9	T2-6	T6-10	T3-7	T4-8
T1-5	-					
T5-9	0,36	-				
T2-6	0,93	0,50	-			
T6-10	0,16	0,87	0,24	-		
T3-7	0,79	0,69	0,90	0,44	-	
T4-8	0,60	0,89	0,74	0,66	0,89	-

Wysokie zależności między dwoma wariantami analizy (T1-5/T2-6 oraz T5-9/T6-10) mogą mieć praktyczne znaczenie w późniejszej analizie. Tabela 3.2.12. sumuje współczynniki korelacji wybranych części dystansu (1-6JP) z końcowym wynikiem w biegu na 400 m przez płotki

Tabela 3.2.12.

Współczynniki korelacji wyniku w biegu na 400 m przez płotki z czasem jednostek płotkarskich (1JP-6JP)

Jednostki płotkarskie (JP)											
1JP	r	2JP	r	3JP	r	4JP	r	5JP	r	6JP	r
t ₀₋₁	0,36										
t ₁₋₂	0,41	T ₁₋₃	0,48	T ₁₋₄	0,54	T ₁₋₅	0,60	T ₁₋₆	0,64	T ₁₋₇	0,70
t ₂₋₃	0,42	T ₂₋₄	0,51	T ₂₋₅	0,58	T ₂₋₆	0,63	T ₂₋₇	0,70	T ₂₋₈	0,78
t ₃₋₄	0,46	T ₃₋₅	0,56	T ₃₋₆	0,64	T ₃₋₇	0,71	T ₃₋₈	0,78	T ₃₋₉	0,85
t ₄₋₅	0,55	T ₄₋₆	0,63	T ₄₋₇	0,71	T ₄₋₈	0,78	T ₄₋₉	0,85	T ₄₋₁₀	0,88
t ₅₋₆	0,52	T ₅₋₇	0,63	T ₅₋₈	0,78	T ₅₋₉	0,80	T ₅₋₁₀	0,84		
t ₆₋₇	0,53	T ₆₋₈	0,68	T ₆₋₉	0,80	T ₆₋₁₀	0,79				
t ₇₋₈	0,61	T ₇₋₉	0,72	T ₇₋₁₀	0,79						
t ₈₋₉	0,63	T ₈₋₁₀	0,67								
t ₉₋₁₀	0,58										
t _{10-F}	0,45										

Analiza strategii biegu obejmuje całościowe ujęcie dystansu (T400H) a także skuteczność biegu wyłącznie między płotkami (T1-10) – tabela 3.2.13.

Tabela 3.2.13

Współczynniki korelacji między wybranymi zmiennymi a końcowym wynikiem w biegu na 400 m przez płotki – Część I

1JP			1JP (2)			2JP		
JP	rT400H	rT1-10	JP	rT400H	rT1-10	JP	rT400H	rT1-10
t0-1	0,28	0,28	t _{first}	0,41	0,47	T1-3	<u>0,48</u>	<u>0,58</u>
t1-2	0,41	0,47	t _{second}	0,42	0,53	T2-4	0,51	0,64
t2-3	0,42	0,53	t _{fastest}	0,44	0,50	T3-5	0,56	0,68
t3-4	0,46	0,56				T4-6	0,63	0,77
t4-5	0,55	0,65	t _{penultimate}	0,63	0,57	T5-7	0,62	0,73
t5-6	0,52	0,64	t _{last}	0,58	0,44	T6-8	0,68	0,72
t6-7	0,53	0,60	t _{slowest}	0,59	0,45	T7-9	0,72	0,68
t7-8	0,61	0,61				T8-10	0,67	0,55
t8-9	0,63	0,57						
t9-10	0,57	0,44						
t10-F	0,45	0,10						

Z uwzględnieniem jednej jednostki płotkarskiej najważniejsze fragmenty biegu dla utrzymania rytmu biegu między płotkami to odcinki między 1. a 8. płotkiem. Czas końcowego fragmentu biegu (8-10) między płotkami to stopniowe obniżenie współczynnika korelacji, co świadczy o specyfice tego fragmentu biegu. Uwzględnienie jednostek najszybszych i najwolniejszych wyłączenia odcinków „przedostatni” (t8-9) jako kluczowy w całości czasu biegu ($r = 0,63$) oraz odcinka biegu między płotkami ($r=0,57$).

Analiza dwóch części dystansu (2JP) wyraźnie różnicuje cały dystans (najbardziej istotny odcinek to t7-9, czyli „wyjście z drugiego wirażu”) oraz bieg między płotkami (najważniejszy to fragment t4-6, czyli „wejście w drugi wiraż”, ściśle związane z początkowymi zmianami rytmu biegu).

Tabela 3.2.14.

Współczynniki korelacji między wybranymi zmiennymi a końcowym wynikiem w biegu na 400 m przez płotki. Część II

3JP			4JP			5JP			6JP		
JP	rT400H	rT1-10	JP	rT400H	rT1-10	JP	rT400H	rT1-10	JP	rT400H	rT1-10
T1-4	0,54	0,65	T1-5	0,60	0,72	T1-6	0,44	0,77	T1-7	0,70	0,84
T4-7	0,71	<u>0,83</u>	T5-9	<u>0,80</u>	0,84	T2-7	0,70	0,84	T2-	0,78	0,90
T7-10	0,74	0,64	T2-6	0,64	0,78	T3-8	0,78	0,89	T3-9	0,85	<u>0,93</u>
T2-5	0,58	0,71	T6-	<u>0,79</u>	0,72	T4-9	<u>0,85</u>	<u>0,91</u>	T4-10	0,89	0,89
T5-8	0,72	<u>0,80</u>	10	0,70	0,84	T5-10	0,84	0,82			
T3-6	0,64	0,75	T3-7	0,78	0,88						
T6-9	<u>0,76</u>	0,76	T4-8								

Analiza korelacji między czasem większych (3-6 JP) fragmentów biegu a końcowym rezultatem biegu na 400 m ppł a także czasem wyłącznie biegu przez płotki (bez dobiegu i wybiegu) potwierdza wcześniejsze ustalenia. W biegu na całym dystansie o końcowym wyniku decyduje głównie druga

część biegu (T6-9, T6-10, T4-9, T4-10), w biegu „rytmowym” część środkowa (T4-7, T5-9, T4-9, T3-9).

Wybór zmiennych

Analiza dziesiątek zmiennych zmusza do wyboru najlepszych, „optymalnych” w odniesieniu do możliwości pomiaru i praktycznej specyfiki konkurencji. W tabelach 3.2.15-20 przeprowadzono analizę korelacji, łączących odcinki często różnej długości.

Tabela 3.2.15.

Współczynniki korelacji w obrębie wybranych grup zmiennych. Cz. I. Pierwsza ćwiartka dystansu

Zmienna	T0-3	T1-3	T0-2	T1100H
T0-3	-			
T1-3	0,91	-		
T0-2	0,93	0,75	-	
T1100H	0,99	0,87	0,97	-
T400H	0,52	0,48	0,46	0,51

Wybór:

T0-3 – Wybór czasu biegu między startem a 3. płotkiem jako optymalnego w pierwszej części biegu ma uzasadnienie statystyczne ($p \geq 0,9$ z pozostałymi zmiennymi) oraz pełną ($p = 0,99$) zgodnością z szacowaną „ćwiartką” biegu.

Tabela 3.2.16.

Współczynniki korelacji w obrębie wybranych grup zmiennych. Cz. II. Druga ćwiartka dystansu

Zmienna	T3-5	T3-6	T4-6	T2-6	T2-5	T1100H
T3-5	-					
T3-6	0,93	-				
T4-6	0,77	0,93	-			
T2-6	0,89	0,96	0,89	-		
T2-5	0,94	0,90	0,77	0,96	-	
T1100H	0,96	0,97	0,86	0,98	0,98	-
T400H	0,56	0,64	0,63	0,64	0,58	0,62

Wybór:

Zmienna 3-5 to tylko prosta ale w pełni może decydować o poziomie drugiej „ćwiartki” biegu. Zależność z drugą 100. biegu jest znaczna ($r = 0,96$), porównywalna z przedłużonym odcinkiem (T3-6; $r = 0,97$).

Tabela 3.2.17.

Współczynniki korelacji w obrębie wybranych grup zmiennych. Cz. III. Trzecia „ćwiartka” dystansu

Zmienna	T ₅₋₈	T ₆₋₈	T ₅₋₇	T ₆₋₉	T ₅₋₉	T _{III100H}
T ₅₋₈	-					
T ₆₋₈	0,92	-				
T ₅₋₇	0,92	0,75	-			
T ₆₋₉	0,84	0,92	0,66	-		
T ₅₋₉	0,94	0,90	0,83	0,95	-	
T _{III100H}	0,99	0,97	0,89	0,88	0,94	-
T _{400H}	0,72	0,68	0,62	0,76	0,80	

Wybór:

To newralgiczna część biegu

Problem 5-7/6-8 – mała, stosunkowo korelacja. Dlatego bezpieczny jest wybór odcinka T₆₋₈ wydaje się najbardziej odpowiedni. Jeżeli przyjmiemy odcinek dłuższy (T₅₋₈) zależności będą podobne.

Tabela 3.2.18.

Współczynniki korelacji w obrębie wybranych grup zmiennych. Cz. IV. Czwarta „ćwiartka” dystansu

Zmienna	T _{8-F}	T ₈₋₁₀	T ₇₋₉	T _{9-F}	T _{IV100H}
T _{8-F}	-				
T ₈₋₁₀	0,82	-			
T ₇₋₉	0,60	0,79	-		
T _{9-F}	0,97	0,70	0,44	-	
T _{IV100H}	1,00	0,81	0,57	0,98	-
T _{400H}	0,64	0,67	0,72	0,56	0,60

Wybór:

Odcinek T₈₋₁₀ to niemal 100% ocena drugiej prostej

Tabela 3.2.19.

Współczynniki korelacji w obrębie wybranych grup zmiennych. Cz. V. Pierwsza „połówka” dystansu

Zmienna	T ₀₋₅	T ₀₋₆	T ₁₋₅	T ₁₋₆	T _{I200H}
T ₀₋₅	-				
T ₀₋₆	0,98	-			
T ₁₋₅	0,96	0,95	-		
T ₁₋₆	0,94	0,97	0,97	-	
T _{I200H}	0,99	0,96	0,96	0,96	-
T _{400H}	0,63	0,67	0,60	0,64	0,65

Wybór:

Każda z przyjętych wersji jest właściwa. Najbardziej praktyczny i powszechnie stosowany jest odcinek T1-5

Tabela 3.2.20.

Współczynniki korelacji w obrębie wybranych grup zmiennych. Cz. VI. Druga „połówka” dystansu

Zmienna	T5-F	T6-F	T5-10	T6-10	TI200H
T5-F	-				
T6-F	0,98	-			
T5-10	0,87	0,80	-		
T6-10	0,88	0,86	0,97	-	
TI200H	0,99	0,99	0,85	0,88	-
T400H	0,83	0,76	0,83	0,79	0,80

Wybór:

Pomijając odcinki bez płotków wybieramy T5-10 lub T6-10 ($r=0,97$).

Wnioski

1. „Wejście” (T4-6) i „wyjście” (T7-9) z drugiego wirażu to najważniejsze części dystansu 400 m przez płotki na najwyższym poziomie zaawansowania.
2. Ocena trzech klasycznych części dystansu wskazuje na najważniejszy ostatni odcinek (T7-10).
3. Druga „połowa” dystansu ma większe znaczenie w czasowej analizie strategii biegu. Jako „drugą” część można wymiennie wykorzystywać zmienne T6-10 oraz T5-9 ($r = 0,87$).
4. Ocena dłuższych części biegu (5JP, 6JP) jako najważniejsze części biegu wyodrębnia odcinki od 4- płotka (T4-9, T4-10).
5. Analiza czasu pokonania odcinków 90m (2JP) wskazuje na brak istotnych związków między prędkością biegu w pierwszej i drugiej jego części (np. T1-3/T8-10, $r = -0,01$).
6. Podobny brak zależności można zaobserwować między większymi (3JP, 4JP) częściami biegu.
7. Czas biegu wyłącznie między płotkami uwarunkowany jest fragmentem „wejścia” (T4-7) i „wyjścia” (T5-8) z drugiego wirażu. Większe fragmenty wskazują jednoznacznie na drugą część biegu.
8. Najbardziej przydatne w ocenie strategii czasowej biegu na 400 m przez płotki są: T0-3, T3-5, T6-8, T8-F (kolejne „ćwiartki” dystansu oraz T1-5 i T6-10 („połówki” biegu).

Wnioski aplikacyjne

1. Ćwiczenia początkowej i końcowej fazy biegu po drugim wirażu stanowią podstawę opracowania strategii biegu na 400 m przez płotki.
2. Umiejętność skutecznego pokonywania płotków w drugiej części dystansu (przy zmęczeniu o charakterze glikolitycznym) to ważny element przygotowania płotkarzy.
3. Strategia dużych prędkości w pierwszej części biegu może mieć negatywne skutki w końcowej części dystansu.
4. Wybór strategii biegu musi uwzględniać sposób pokonania (także czas) trzech jego części. Pośrednio na odpowiedni wybór wpływa układ kroków.
5. Wybór części dystansu do analizy czasowej strategii biegu musi odzwierciedlać specyfikę wysiłku na każdym odcinku.

Piśmiennictwo*

Behm 2014–2021
Belloc 1990
Boczwarow 1985
Bozow 1982
Brice 2018
Brogli i Krastew 1974
Brüggeman i Susanka 1988
Colon i Guzman 2013
Ditroilo i Marini 2000
GONG i wsp. 2003
Hiller 2012
Iskra 1994f, 1996d, 1997d, 1999d,
Jirka 1984
Karube i wsp. 2003
Kawierin i Szustin 1981
Matousek i Sedlacek 1985
McFarlane 1977, 1991a
Railsback 1988, 1990
Righi 1986ab
Sanchez i wsp. 2011ab
Sedlacek i Matousek 1985
St Paul 2013
Susanka i Ziegler 1973
Valamatos i wsp. 2009
Vittori 1998

*Pełna identyfikacja na końcu pracy

3.2.3. Zmienne czasowe szacowane

Pytania:

1. Która z części dystansu ma decydujący wpływ na końcowy rezultat?
2. Jakie są różnice czasu pokonywania pierwszej i drugiej części biegu?
3. Czy szacowane analizy można zastąpić prostszymi (logistycznie) analizami czasu pokonania kolejnych odcinków między płotkami?

Wprowadzenie

W analizach naukowych często wykorzystuje się badania zmian prędkości biegu na pokrewnym dystansie 400 m (bez płotków) – Hannon i wsp. 2011.

Analiza zmian „tempa” biegu przez wielu autorów dotyczyła podziału na równe jego części (Boczwarow 1985) . Takie postępowanie zmusza do klasycznego, równego podziału dystansu na dwie (2 x 200 m) oraz cztery (4 x 100 m) części.

O ile podział ten w biegu na 400 m wydaje się w pełni uzasadniony, to na dystansie płotkarskim często jest problematyczny. Podział na 200 m jest sensowny – punkt graniczny znajduje się 15 m za 5. płotkiem, podział na odcinki 100-metrowe zawiera liczne „nierówności” (krzywizny bieżni, liczbę płotków). Taką koncepcję analizy strategii biegu na 400 m przyjęto w Mistrzostwach Świata w Eugene (2022) – patrz tabela 3.2.21.

Tabela 3.2.21.

Czasy szacowanych odcinków 100-metrowych najlepszych płotkarzy na Mistrzostwach Świata w 2022 r (dane wg *World Athletics, Timing by SEIKO*, 17.07.2022)

Bieg	Miejsce	Płotkarz	Wynik	4 x 100 m (ppł)			
			(s)	I100 m	II100m	III100 m	IV100 m
F	1	Dos	46,29	11,26 (2)	10,41 (2)	11,88 (1)	12,74 (1)
	2	Santos	46,89	11,35 (5)	10,62 (5)	11,70 (2)	13,22 (2)
	3	Benjamin	47,39	11,57 (6)	10,71 (6)	12,18 (6)	12,93 (3)
	4	Bassitt	47,41	11,34 (4)	10,52 (4)	12,19 (5)	13,36 (4)
	5	Happio	47,88	11,68 (7)	10,92 (7)	12,11 (7)	13,17 (5)
	6	Rosser	48,03	11,27 (3)	10,59 (3)	12,17 (4)	14,00 (6)
	7	Hyde	48,42	11,09 (1)	10,41 (1)	12,25 (3)	14,67 (7)
	8	Warholm Mägi	48,92	11,78 (8)	10,93 (8)	12,42 (8)	13,79 (8)
SF	1	Benjamin	48,44	11,65 (1)	11,57 (3)	12,07 (1)	13,15 (1)
	2	Hyde	49,09	11,70 (2)	11,43 (2)	12,50 (3)	13,46 (2)
	1	Warholm	48,00	11,16 (1)	10,64 (1)	12,18 (1)	13,99 (1)
	2	Happio	48,14	11,59 (4)	10,85 (3)	12,30 (2)	13,40 (2)
	3	Rosser	48,34	11,57 (3)	10,84 (2)	12,35 (3)	13,58 (3)
	1	Dos	47,85	11,56 (1)	10,93 (1)	12,37 (1)	12,99 (1)
	2	Santos	48,17	11,74 (2)	11,06 (3)	12,26 (2)	13,11 (2)
	3	Bassitt	48,40	11,78 (5)	11,22 (4)	12,27 (4)	13,13 (3)
		Mägi					

(2) – miejsce po danym fragmencie biegu

Próba pogodzenia specyfiki dystansu (9 odległości międzypłotkowych) z podziałem metrycznym jest podział na 3 części (133,33 m), posilkując się wcześniej opracowanymi wzorami.

Podstawowe statystyki

Tabela 3.2.22

Czasowe parametry szacowane

Zmienna	x	SD	Min-max	Med	Sko	Kur	r
T _I 200H	23,16	0,44	22,17-24,84	23,17	0,32	0,30	0,65
T _{II} 200H	25,48	0,57	24,25-27,35	25,44	0,37	0,07	0,81
T _{II} 200H- T _I 200H	2,32	0,57	0,37-4,73	2,27	0,28	0,41	0,24
T _{II} -T _I 200H(%400H)	4,74	0,69	0,77-9,47	4,64	0,23	0,34	0,20
T _{II} -T _I 200H/ T _I 200H%	10,00	1,40	1,55-20,92	9,74	0,33	0,42	0,20
T100H	11,92	0,24	11,28-12,71	11,93	0,17	0,19	0,51
T200H	23,16	0,44	22,16-24,84	23,17	0,32	0,30	0,65
T300H	35,32	0,59	34,03-37,33	35,30	0,38	0,07	0,79
T400H	48,64	0,74	46,78-50,46	48,59	0,24	-	1,00
						0,50	
T _I 100H	11,92	0,24	11,28-12,71	11,93	0,17	0,19	0,51
T _{II} 100H	11,24	0,26	10,46-12,13	11,21	0,43	0,27	0,62
T _{III} 100H	12,16	0,24	11,52-12,91	12,18	0,03	0,04	0,71
T _{IV} 100H	13,32	0,46	12,29-15,13	13,29	0,68	0,93	0,60
T _I 1/3	15,59	0,31	14,79-16,85	15,60	0,23	0,51	0,49
T _{II} 1/3	15,61	0,30	14,83-16,63	15,59	0,26	0,22	0,62
T _{III} 1/3	17,44	0,50	16,32-19,29	17,43	0,59	0,62	0,48

$r = 0,19, p = 0,001$

Analiza wyników dowodzi, że przyspieszeniu startowym (pierwsze 100 m), następuje najszybszy odcinek pierwszej prostej ($t = 11,24$ s), po czym czas kolejnej 100-metrowej części wzrasta o blisko sekundę (0,92 s), i następnie o ponad sekundę ($t_{IV}100H - t_{III}100H = 1,16$ s). – tab. 7M. Spadek prędkości biegu w drugiej części jest wyraźny – czas I200H i II200H różni się o 2,32 s.

Analiza korelacji

Wyniki analizy korelacji czasu wyodrębnionych części biegu z końcowym rezultatem wyraźnie wskazują na newralgiczne części dystansu. Podstawowe znaczenie ma druga część biegu ($r = 0,81$), z akcentem na część między 200 a 300 m ($r = 0,71$).

Szacowane części dystansu mają swoje odpowiedniki w klasycznym pojmowaniu „touchdown times” Wybór właściwych (z teoretycznego i praktycznego punktu widzenia) zmiennych wymaga akceptacji analizy korelacji z potrzebami trenerów. Poniżej przedstawiono podstawowe analizy.

Tabela 3.2.23.

Współczynniki korelacji między wybranymi zmiennymi a końcowym wynikiem w biegu na 400 m przez płotki – „połówki” dystansu

Zmienne	I200H		II200H	
	Zmienna	r	Zmienna	r
Dystans z dobiegiem	T0-5	0,995	T6-F	0,807
	T0-6	0,994	T5-F	0,728
Dystans wyłącznie przez płotki	T1-5	0,958	T6-10	0,619
	T1-6	0,955	T5-10	0,765

Gruba czcionka – optymalny wybór

Tabela 3.2.24.

Współczynniki korelacji między wybranymi zmiennymi a końcowym wynikiem w biegu na 400 m przez płotki – „1/3” dystansu

Zmienne	TI1/3		TII1/3		TIII1/3	
	Zmienne	r	Zmienne	r	Zmienne	r
2JP	T1-3	0,77	T3-5	0,61	T7-9	0,50
	T2-4	0,67	T5-7	0,67	T8-10	0,55
			T4-6	0,69		
			T6-8	0,57		
3JP	T1-4	0,76	T4-7	0,75	T7-10	0,57
			T3-6	0,70		
4JP			T4-8	0,75		
Dobieg/wybieg	T0-3	0,83			T8-F	0,64
	T0-4	0,84			T7-F	0,61

Tabela 3.2.25.

Współczynniki korelacji między wybranymi zmiennymi a końcowym wynikiem w biegu na 400 m przez płotki – „ćwiartki” dystansu

Zmienne	TI100H		TII100H		TIII100H		TIV100H	
	Zmienna	r	Zmienna	r	Zmienna	r	Zmienna	r
2JP	T1-3	0,87	T3-5		T5-7	0,54	T8-10	0,80
			T4-6		T6-8		T7-9	
3JP			T3-6		T5-8	0,98		
			T2-5	0,98	T6-9			
Dobieg + wybieg	T0-2	0,97					T8-F	0,998
	T0-3						T9-F	

Wnioski

1. Analiza czasów czterech równych części biegu wskazuje na wyraźne wyodrębnienie etapów biegu
2. Przyspieszenie płotkarskie (T_I100H), uzyskanie prędkości maksymalnej ($T_{II}100H$), początkowy spadek prędkości biegu ($T_{III}100H$) oraz wyraźny spadek prędkości ($T_{IV}100H$)
3. Końcowy wynik w biegu na 400 m przez płotki głównie warunkuje druga część biegu ($t_{II}200H$). Szczegółowa analiza wskazuje dokładniej; najważniejszy – z punktu widzenia czasu biegu – jest odcinek drugiego wirażu, między 200 a 300 m.

Wnioski aplikacyjne

1. Analiza czterech części dystansu sugeruje wykorzystanie następujących parametrów do ich oceny - **T1-3, T2-5, T5-8 oraz T8-10**.
2. Ocena trzech części biegu, jako optymalne w analizie strategii czasowej, wyłania następujące zmienne – T1-3 i T 8-10 (podobnie jak wyżej) oraz T4-6, jako najbardziej trafny wskaźnik czasowej strategii środkowej części dystansu. Po raz kolejny „wejście” w wiraż oceniane jest jako istotny element strategii biegu.

Piśmiennictwo*

Boczwarow 1985

Hannon i wsp. 2011

*pełna identyfikacja źródeł na końcu pracy

3.2.4. Przeliczniki prędkościowe

Pytania:

1. Jakie są zmiany prędkości biegu na dystansie 400 m przez plotki?
2. Czy zmiany prędkości biegu na dystansie 400 m przez plotki różnią się od biegu na 400 m?

Analizy struktury czasowej biegu na 400 m przez plotki uwzględnia czasy pokonywania kolejnych części biegu. Możliwość porównywania „tempa” biegu na różnych dystansach (bez plotków) ułatwia przeliczanie czasu biegu na prędkości. Takie postępowanie ułatwia także analizę wykresów (Righi 1986b, Sedlacek 1986). Przeliczenia czasu biegu na jego prędkość pomagają także w analizach porównawczych z dystansem bez plotków (= 400 m „płaskie”).

Statystyki podstawowe

Tabela 3.2.26.

Parametry prędkościowe (podstawowe statystyki)

Zmienna	x	SD	Min-max	Med	Sk	Kurtoza	r
V0-1	7,51	0,16	7,01-8,04	7,50	0,30	0,25	-0,36
V1-2	9,33	0,30	8,12-10,00	9,31	-0,40	0,76	-0,41
V2-3	9,22	0,28	7,96-10,00	9,21	-0,28	1,04	-0,43
V3-4	9,02	0,27	7,96-9,72	8,97	-0,57	1,46	-0,46
V4-5	8,81	0,25	8,10-9,72	8,75	0,25	1,01	-0,55
V5-6	8,55	0,24	7,69-9,21	8,54	-0,27	0,45	-0,53
V6-7	8,26	0,21	7,60-8,83	8,33	0,10	0,01	-0,53
V7-8	8,03	0,21	7,45-8,75	8,03	0,16	0,26	-0,61
V8-9	7,77	0,21	7,11-8,22	7,78	-0,18	-0,22	-0,63
V9-10	7,52	0,24	6,48-7,99	7,54	-0,46	0,65	-0,58
V10-F	7,50	0,38	5,88-8,51	7,55	-0,69	1,38	-0,45

Skala zmian prędkości biegu wskazuje na jej redukcję od $9,33 \pm 0,30$ m/s w początkowej fazie biegu przez plotki (h1-2) do $7,52 \pm 0,24$ m/s w ostatniej jednostce plotkarskiej (h9-10) – tabela 2. Obniżenie prędkości biegu o ok. 1,8 m/s (= 20%) wymusza na trenerach zdecydowanego różnicowania treningu technicznego, w tym przypadku ze względu na procesy zmęczenia o charakterze glikolitycznym.

Charakterystyczne, iż średnia prędkość pokonywania „dobiegu” do pierwszego plotka (h0-1) jest taka sama jak odcinka finiszowego (h10-F) – 7,51 v. 7,50 m/s.

Matematycznie to samo, jednakże pierwszy odcinek to przyspieszenie startowe, ostatni to bieg sprinterski z poziomem mleczanu ok. 20 mmol/l.

Tabela 3.2.27.

Parametry prędkościowe (dodawane i szacowane)

Zmienna	x	SD	Min-max	Med	Sk	Ku	r
1. Parametry prędkościowe dodawane (2 JP)							
V1-3	9,27	0,25	8,33-9,94	9,26	-0,23	0,29	-0,48
V3-5	8,92	0,23	8,16-9,72	8,97	-0,35	0,65	-0,57
V6-8	8,40	0,19	7,87-8,97	8,43	0,07	0,04	-0,62
V8-10	7,90	0,18	7,88-8,42	7,88	0,05	0,01	-0,73
3. Parametry prędkościowe dodawane (3 JP)							
V1-4	9,18	0,23	8,27-9,76	9,21	-0,30	0,40	-0,54
V4-7	8,54	0,18	7,97-9,04	8,54	-0,06	0,24	-0,71
V7-10	7,76	0,18	7,29-8,18	7,78	-0,15	-0,24	-0,74
4. Parametry prędkościowe dodawane (4 JP)							
V1-5	9,09	0,21	8,33-9,66	9,09	-0,29	0,22	-0,60
V6-10	8,14	0,15	7,66-8,54	8,14	-0,02	-0,02	-0,80
V _I 100m	8,39	0,17	7,87-8,87	8,38	-0,03	0,08	-0,51
V _{II} 100m	8,90	0,21	8,24-9,56	8,92	-0,29	0,20	-0,62
V _{III} 100m	8,23	0,17	7,75-8,68	8,21	0,10	0,02	-0,71
V _{IV} 100m	7,51	0,26	6,61-8,14	7,53	-0,44	0,41	-0,60
5. Parametry prędkościowe (szacowane) – połówki							
V _I 200H	8,64	0,16	8,05-9,02	8,63	-0,20	0,11	-0,65
V _{II} 200H	7,85	0,17	7,31-8,25	7,86	-0,25	-0,08	-0,81

Wnioski

1. Zmiany prędkości biegu już od początkowej jego części wpływa na zmienne traktowanie specjalistycznego szkolenia. Jak wcześniej zauważono (patrz wcześniejsze analizy) każda część dystansu wymaga innego traktowania.
2. Krzywa zmian prędkości biegu na dystansie 400 m przez płotki przedstawia 4 fazy biegu – przyspieszenie na pierwszym wirażu, najszybszą prędkość biegu na pierwszej prostej i stopniowe obniżanie prędkości, począwszy od drugiej połowy dystansu.

Wnioski aplikacyjne

1. Optymalizacja procesu szkolenia w biegu na 400 m przez płotki wymaga stosowania kilku, różnorodnych wariantów treningu rytmowego.
2. Cztery części biegu przez płotki to cztery różne warianty treningu płotkarzy.

Piśmiennictwo *

Behm 2014
Cobner 2012
Ditroilo i Marini 2000
Righi 1986b
Sedlacek 1986
XIE 2007

*pełna identyfikacja źródeł na końcu pracy

3.2.5. Różnice parametrów czasowych

Pytania:

1. Czy analiza różnic czasowych wybranych części biegu jest istotna w kontekście końcowego wyniku?

Poszukiwania dodatkowych (uzupełniających) parametrów czasowych, pozwalających ocenić strategię biegu na 400 m przez płotki sięgają także różnic (i proporcji) czasów pokonywania kolejnych odcinków.

Analizy dotyczą odcinków podstawowych (1JP) a także jednostek dodawanych (2, 3, 4 JP). Oceny różnic można dokonywać wykorzystując wartości bezwzględne i procentowe.

Różnice bezwzględne

Tabela 3.2.28.

Różnice parametrów czasowych (podstawowe)

Zmienna	x	SD	Min-max	Med	Sk	Kur	r (400H)	r (1-10H)
1. Różnice podstawowe								
t2-3-t1-2	0,047	0,119	-0,34-0,40	0,04	-0,12	1,10	-0,00	0,04
t3-4-t2-3	0,081	0,121	-0,30-0,70	0,08	0,76	4,05	0,04	0,05
t4-5-t3-4	0,091	0,106	-0,40-0,40	0,10	-0,83	2,92	0,06	0,05
t5-6-t4-5	0,121	0,120	-0,33-0,66	0,10	0,35	2,39	-0,02	-0,01
t6-7-t5-6	0,144	0,120	-0,20-0,60	0,12	0,28	0,89	0,00	-0,04
t7-8-t6-7	0,121	0,121	-0,28-0,50	0,10	0,03	0,72	0,08	0,01
t8-9-t7-8	0,149	0,116	-0,20-0,56	0,15	0,03	0,44	0,06	0,00
t9-10-t8-9	0,150	0,119	-0,20-0,80	0,12	0,95	3,27	0,09	0,01
2. Różnice wybranych części biegu (1JP)								
t _{worst} -t _{best}	0,935	0,188	0,50-1,80	0,90	0,58	1,37	0,22***	0,08
t ₉₋₁₀ -t ₁₋₂	0,903	0,202	0,30-1,80	0,90	0,39	1,06	0,18***	0,04
t ₈₋₉ -t ₂₋₃	0,707	0,160	0,19-1,16	0,70	0,02	0,06	0,08NS	0,04
t ₉₋₁₀ -t ₂₋₃	0,858	0,193	0,35-1,70	0,85	0,60	1,25	0,10NS	0,02

Największe straty prędkości biegu (=wzrost czasu) następuje między 6. a 7. płotkiem a także w dwóch ostatnich jednostkach płotkarskich. Różnice czasu między kolejnymi jednostkami płotkarskimi stopniowo wzrastają. Istotne statystycznie są jedynie różnice między skrajnymi JP, także z uwzględnieniem przedostatniej odległości ($r = 0,18/0,22$, $p \leq 0,001$).

Tabela 3.2.29.

Różnice parametrów czasowych (parcjalne) – 2-4 JP

Zmienna	x	SD	Min-max	Med	Sk	Kur	r
T ₆₋₁₀ -T ₁₋₅	2,35	0,48	0,55-3,70	2,40	-0,16	0,66	0,15**
T ₄₋₇ -T ₁₋₄	0,87	0,26	0,00-1,55	0,90	0,36	0,45	0,09
T ₇₋₁₀ -T ₄₋₇	1,22	0,32	0,31-2,10	1,20	0,04	-0,20	0,16**
T ₇₋₁₀ -T ₁₋₄	2,09	0,41	0,80-3,30	2,10	0,07	0,22	0,18**
T ₃₋₅ -T ₁₋₃	0,30	0,20	-0,38-1,10	0,30	0,04	1,08	0,08
T ₆₋₈ -T ₁₋₃	1,04	0,26	0,40-1,80	1,07	-0,11	-0,01	0,11
T ₈₋₁₀ -T ₁₋₃	1,61	0,32	0,80-2,70	1,60	0,31	0,32	0,19**
T ₆₋₈ -T ₃₋₅	0,74	0,24	-0,31-1,50	0,75	-0,57	1,47	0,05
T ₈₋₁₀ -T ₃₋₅	1,31	0,31	0,10-2,30	1,30	-0,29	0,95	0,15**
T ₈₋₁₀ -T ₆₋₈	0,57	0,23	-0,20-1,36	0,56	0,29	0,44	0,15**

Znaczące (ze szkoleniowego punktu widzenia) są różnice między czasem pokonania ostatniego odcinka między płótkami (T₈₋₁₀) a poprzedzającymi jego częściami dystansu (T₃₋₅ oraz T₆₋₈) – r = 015, p ≤ 0,01. Dane udowadniają, że najlepsi płótkarze tracą najmniej w końcowej części biegu.

Różnice procentowe

Innym sposobem oceny różnic czasowych odnośnie strat prędkości biegu w kolejnych częściach dystansu jest wykorzystanie strat procentowych (tabela 3.2.30.). W porównaniu do oceny różnic bezwzględnych, ten sposób analizy nie wnosi istotnych informacji w opracowywaniu strategii biegu. Obliczenia są bardziej rozbudowane a współczynniki korelacji, we wszystkich przypadkach, nie istotne statystycznie.

Tabela 3.2.30.

Różnice procentowe parametrów czasowych (podstawowe)

Zmienna	x	SD	Min-max	Med	Sk	Kur	r* (400H)	r* (1-10H)
1. Różnice podstawowe (procentowe)								
t ₂₋₃ -t ₁₋₂ /t ₁₋₂ *100	1,302	3,14	-8,10-11,11	1,10	0,01	0,87	-0,00	0,04
t ₃₋₄ -t ₂₋₃ /t ₂₋₃ *100	2,168	3,22	-7,50-18,92	2,15	0,87	4,16	0,03	0,03
t ₄₋₅ -t ₃₋₄ /t ₃₋₄ *100	2,386	2,74	-9,09-11,11	2,56	-0,61	2,37	0,05	-0,04
t ₅₋₆ -t ₄₋₅ /t ₄₋₅ *100	3,097	3,07	-7,64-16,97	2,56	0,50	2,36	-0,04	-0,02
t ₆₋₇ -t ₅₋₆ /t ₅₋₆ *100	3,552	2,97	-4,65-15,00	2,88	0,40	0,89	-0,01	-0,06
t ₇₋₈ -t ₆₋₇ /t ₆₋₇ *100	2,915	2,89	-6,09-12,50	2,40	0,13	0,73	0,06	0,00
t ₈₋₉ -t ₇₋₈ /t ₇₋₈ *100	3,457	2,70	-4,44-12,84	3,24	0,10	0,34	0,04	-0,02
t ₉₋₁₀ -t ₈₋₉ /t ₈₋₉ *100	3,333	2,65	-4,26-17,39	2,65	0,94	2,92	0,07	-0,04

*wszystkie zależności NS

Największy, procentowy wzrost czasu biegu następuje po pokonaniu 6. płótki, co z pewnością jest związane ze zmianą liczby kroków. Ocena zmian procentowych pojedynczych JP wydaje się bezcelowa.

Tabela 3.2.31.

Różnice procentowe parametrów czasowych (parcjalne)

Zmienna	x	SD	Min-max	Med	Sk	Ku	r
$T_{6-10}-T_{1-5}/T_{1-5}*100$	15,33	3,32	3,35-24,67	15,59	-0,06	0,57	0,08
$T_{4-7}-T_{1-4}/T_{1-4}*100$	7,60	2,38	0,00-13,76	7,82	-0,25	0,37	0,05
$T_{7-10}-T_{4-7}/T_{4-7}*100$	9,97	2,76	2,41-17,31	9,84	0,06	-0,23	0,10
$T_{7-10}-T_{1-4}/T_{1-4}*100$	18,33	3,93	6,62-29,73	18,58	0,15	0,25	0,11
$T_{3-5}-T_{1-3}/T_{1-3}*100$	3,98	2,71	-0,57-15,07	3,95	0,12	1,00	0,06
$T_{6-8}-T_{1-3}/T_{1-3}*100$	13,86	3,65	4,76-25,00	14,04	0,00	0,04	0,05
$T_{8-10}-T_{1-3}/T_{1-3}*100$	21,42	4,71	9,88-36,99	21,05	0,38	0,36	0,12NS
$T_{6-8}-T_{3-5}/T_{3-5}*100$	9,53	3,15	-3,61-20,83	9,41	-0,41	1,24	0,00
$T_{8-10}-T_{3-5}/T_{3-5}*100$	16,81	4,15	1,17-29,87	16,88	-0,22	0,79	0,08
$T_{8-10}-T_{6-8}/T_{6-8}*100$	6,67	2,74	-2,17-15,89	6,36	0,32	0,37	0,13**

Dane potwierdzają zasadność różnicowania biegu po drugim wirażu i odcinku finiszowym na ostatniej prostej. Być może to element mistrzostwa sportowego na tym dystansie. Poszukiwania dodatkowych (uzupełniających) parametrów czasowych pozwalających ocenić strategię biegu na 400 m przez płotki sięgają także różnic czasów pokonywania kolejnych odcinków. Procedurę poszukiwań podstawowych zmiennych czasowych przeprowadzono obliczając różnice czasowe kolejnych fragmentów biegu. Wykorzystano różnice bezwzględne (tabela 3.2.28.) oraz różnic procentowe. Uwzględniając zmienne podstawowe trudno znaleźć zmienne przydatne w ocenie i modyfikacji strategii biegu. Bezwzględne różnice czasu pokonywania kolejnych jednostek płotkarskich (1JP) nie mają wpływu na końcowy wynik ($r = NS$).

Dane wskazują, że różnica czasu pokonywania kolejnych odcinków między płotkami stopniowo wzrasta – od 0,047 (pierwsza i druga odległość między płotkami) do 0,150 s (przedostatnia i ostatnia odległość) – tabela 3.2.30. W ocenie zmian procentowych zdecydowanie większe różnice miały miejsce w drugiej części dystansu – kolejne różnice prędkości biegu są coraz większe (tab. 3.2.31). Zmęczenie w końcowej części dystansu sprawia, że różnice zwiększają się systematycznie. Informacje te są interesujące z badawczego punktu, jednakże brak korelacji (dosłownie – całkowicie brak – $r = -0,02$ do $0,09$, $p \geq 0,05$) z końcowym wynikiem w biegu na 400 m przez płotki.

Ważnym parametrem wydaje się jednak różnica zmiennych skrajnych – najwolniejszej (t_{worst}) i najszybszej (t_{best}) jednostek płotkarskich ($r = 0,22$, $p \leq 0,001$). Znamiennym jest fakt, iż parametr ten jest lepszy w diagnostyce strategii biegu. Najczęściej wykorzystywane odcinki (pierwszy i ostatni) mają także ważne znaczenie, jednakże mniejsze niż wspomniane wyżej wartości $t_{\text{worst}}-t_{\text{best}}$.

Interesującym parametrem jest strata czasu biegu na skutek zmiany rytmu (czasy przed i po zmianie rytmu kroków). Ciekawym jest fakt największego zróżnicowania różnic podstawowych (SD), kolejnych jednostek

płatkarskich w drugiej części biegu. Świadczy to o podobnej strategii czasowej na początku biegu (bez względu na poziom sportowy) oraz znaczące różnice w końcowej jej części.

Wnioski

1. Różnice między podstawowymi jednostkami płatkarskimi nie są miernikiem poziomu sportowego. Istotnym parametrem mistrzostwa płatkarzy na 400 m są minimalne różnice czasu najwolniejszej (ostatniej, czasami przedostatniej) i najszybszej (pierwszej) jednostki płatkarskiej.
2. Różnice czasu pokonania dłuższych odcinków biegu (2, 3, 4 jednostki płatkarskie) potwierdzają znaczenie minimalizowania różnic między pierwszą i drugą częścią dystansu.

Wnioski aplikacyjne

1. Optymalna strategia biegu powinna uwzględniać minimalne straty prędkości pomiędzy początkową i końcową częścią biegu.
2. Pomimo iż strategia stałego tempa biegu nie dotyczy dystansu 400 m przez płatki, „wypłaszczenie” krzywej spadku prędkości jest nieodzowne. To priorytet w opracowaniu strategii czasowo-przestrzennej.
3. Sztuką optymalnego planowania i realizacji strategii biegu na 400 m przez płatki jest minimalizowanie start prędkości na całym dystansie. Aby zrealizować ten cel, organizacja tzw. treningu „rytmowego” pierwszej i drugiej części dystansu musi przybierać różne formy.

Piśmiennictwo

Pełna identyfikacja piśmiennictwa na końcu pracy

3.2.6. Proporcje czasowe

Pytanie:

1. Czy poszukiwania proporcji czasowych wybranych odcinków wnosi istotne informacje do strategii biegu na 400 m ppł?

Wymiennymi parametrami przedstawiającymi zmiany (zwiększenie) czasu pokonywania kolejnych odcinków są proporcje. Ten sposób przedstawiania danych może odbywać się dwutorowo – jako zwiększenie czasu w następnym odcinku – wartości bezwzględne (tabela 3.2.32.) lub jako mniejsza wartość w stosunku do odcinka następnego (tabela 3.2.33.). Dane zawarte w tych analizach można również (podobnie, jak różnice) oceniać w wartościach bezwzględnych i procentowych.

Podstawowe statystyki

Proporcje bezwzględne

Tabela 3.2.32.

Proporcje parametrów czasowych – wariant I (wartości bezwzględne)
(n = 271-273)

Zmienna	x	SD	Min-max	Med	Sk	Ku	r*
T ₆₋₁₀ /T ₁₋₅	1,15	0,03	1,03-1,25	1,16	-0,07	0,60	0,00
T ₄₋₇ /T ₁₋₄	1,08	0,02	1,00-1,14	1,08	-0,24	0,40	-0,03
T ₇₋₁₀ /T ₄₋₇	1,10	0,03	1,02-1,17	1,10	0,07	-0,20	0,02
T ₇₋₁₀ /T ₁₋₄	1,18	0,04	1,07-1,30	1,19	0,14	0,28	0,01
T ₃₋₅ /T ₁₋₃	1,04	0,03	0,95-1,15	1,04	0,15	0,96	0,07
T ₆₋₈ /T ₁₋₃	1,10	0,03	0,96-1,21	1,09	-0,40	1,25	-0,06
T ₈₋₁₀ /T ₁₋₃	1,17	0,04	1,01-1,30	1,17	-0,23	0,84	-0,01
T ₆₋₈ /T ₃₋₅	1,14	0,04	1,05-1,25	1,14	0,01	0,05	0,00
T ₈₋₁₀ /T ₃₋₅	1,21	0,05	1,10-1,37	1,21	0,37	0,39	0,02
T ₈₋₁₀ /T ₆₋₈	1,07	0,03	0,98-1,16	1,06	0,31	0,39	0,02

*wszystkie przypadki – NS

Wraz ze wzrostem odległości przebieganego dystansu następuje zwiększenie różnic czasowych. Dla przykładu – wskaźnik T₃₋₅ /T₁₋₃ to 1,08, natomiast T₇₋₁₀/T₁₋₄ wynosi już 1,18. Wskaźniki te nie mogą być jednak identyfikatorami mistrzostwa sportowego, a tym samym wyboru optymalnej strategii biegu.

Wszystkie współczynniki korelacji nie są istotne statystycznie. Wobec tego ich wykorzystanie w analizie strategii biegu może być bezcelowe.

Należy jednak uwzględnić indywidualne analizy. Każdy z płotkarzy przyjmuje odmienny sposób pokonywania dystansu. Porównanie ze średnimi wynikami może być inspiracją do podejmowania nowych inicjatyw treningowych.

Proporcje względne

Tabela 3.2.33.

Proporcje parametrów czasowych – wariant II
(wartości względne/procentowe)

Zmienna	x	SD	Min-max	Med	Sk	Kur	r (400H)	r (1-10H)
T ₁₋₅ /T ₆₋₁₀ *100	86,78	2,51	80,21-96,76	86,51	0,28	0,81	-0,08	-0,06
T ₁₋₄ /T ₄₋₇ *100	92,98	2,07	87,90-100,00	92,74	0,41	0,53	-0,05	-0,03
T ₄₋₇ /T ₇₋₁₀ *100	90,99	2,28	85,24-97,65	91,04	0,07	-0,21	-0,10	-0,09
T ₁₋₄ /T ₇₋₁₀ *100	84,60	2,81	77,08-93,79	84,33	0,07	0,22	-0,10	0,05
T ₁₋₃ /T ₃₋₅ *100	96,22	2,53	86-90-104,79	96,20	0,08	0,86	-0,06	-0,08
T ₁₋₃ /T ₆₋₈ *100	87,92	2,83	80,00-95,45	97,69	0,19	0,04	-0,05	0,01
T ₁₋₃ /T ₈₋₁₀ *100	82,48	3,17	73,00-91,01	82,61	-0,13	0,18	-0,11	0,03
T ₃₋₅ /T ₆₋₈ *100	91,29	2,50	73,00-91,01	91,31	0,26	0,19	0,02	0,09
T ₃₋₅ /T ₈₋₁₀ *100	85,72	3,09	82,76-98,82	85,56	0,53	1,26	-0,08	0,09
T ₆₋₈ /T ₈₋₁₀ *100	93,78	2,34	86,29-98,88	94,00	-0,29	-0,04	-0,13*	0,02

*p<0,05

Podobne wyniki analizy dotyczą innego wariantu proporcji czasowych – wartości procentowe proporcji odcinka wcześniejszego (szybszego) do następnego (ze wzrostem czasu pokonania dystansu) – tabela 3.2.33.

Dane dowodzą, że intensywność biegu w drugiej jego części to 86,78% prędkości biegu w początkowej (T1-5) części dystansu. Najmniejsze zmiany czasu biegu dotyczą (powyżej 95%) dotyczą sąsiadujących ze sobą odcinków – dwóch początkowych części (T1-3/T3-5*100) a także (93,78%) końcowego fragmentu (T6-8/T8-10*100).

Gwałtowne zmiany prędkości biegu na ostatniej prostej w odniesieniu do biegu po wirażu to jedyna, istotna zmienna (r = -0,13, p ≤ 0,05).

Wnioski

1. Ocena strategii biegu na 400 m przez płotki na podstawie proporcji czasowych wybranych (podobnych) fragmentów biegu nie przedstawia istotnych danych.
2. Jedyną istotną zależnością jest spadek prędkości biegu między wirażem a ostatnią prostą (p ≤ 0,05). Minimalne straty na tych odcinkach decydują o mistrzostwie sportowym.

Wnioski aplikacyjne

1. Proporcje czasowe kolejnych odcinków dystansu 400 m przez płotki nie stanowią jednoznacznych wskazówek dla płotkarzy; mogą być jednak cenne w porównaniu indywidualnych osiągnięć.
2. Zbyt szybki, w porównaniu z aktualnymi możliwościami płotkarza) drugi wiraż może być decydujący w znacznym obniżeniu prędkości biegu w dwóch ostatnich odległościach między płotkami (8–10h).
Z jednej strony wyjście na finiszową prostą na dogodnej pozycji jest cenne, z drugiej może doprowadzić do kryzysu na końcowym odcinku.

Piśmiennictwo

Pełna identyfikacja źródeł na końcu pracy.

3.2.7. Parametry czasowe procentowe – w poszukiwaniu wskaźników mistrzostwa sportowego

Pytania:

1. Czy obliczenie czasowych parametrów procentowych poszczególnych części biegu ma znaczenie w określeniu wskaźników mistrzostwa w biegu na 400 m ppł.?
2. Czy wskaźniki procentowe mogą być pomocne w typologii strategii płotkarzy na 400 m?

Wprowadzenie

Wskaźniki mistrzostwa sportowego w biegu na 400 m ppł – idea czy rzeczywistość

Poszukując istotnych wskaźników mistrzostwa w biegu na 400 m przez płotki obliczono współczynniki korelacji zmiennych procentowych z końcowym wynikiem. Wyniki analizy nie wykazały spodziewanych efektów (=istotnych zależności). Jedynie odcinki bez płotków (h0-1 oraz h10-F) wykazują istotne, przeciwne znaczenie w końcowym czasie biegu. Za szybkie (relatywnie do poziomu sportowego płotkarza) rozpoczynanie biegu ma zdecydowanie ujemny wpływ ($r = -0,37$) na finalny rezultat W przypadku odcinka końcowego zależność jest przeciwna ($r = 0,17$, $p \leq 0,05$). Większe zależności można zauważyć w odniesieniu do czasu biegu wyłącznie między płotkami (T1-10). W tym przypadku procentowy rozkład „tempa” biegu związany jest z jego poziomem w na odcinku końca pierwszej prostej i początkowej fazy drugiego wirażu (T3-6). Procentowy rozkład „tempa” biegu nie ma znaczenia w ujęciu statystycznej analizy obszernej grupy. Ten brak związków jest jednak ważną informacją w opracowywaniu strategii biegu. Na podstawie zmiennych uwzględniających udział procentowy poszczególnych fragmentów biegu można zauważyć, że strategia ma charakter indywidualny, a poszukiwanie istotnych związków wymaga dalszej analizy.

Kolejnym etapem analizy pojedynczych jednostek płotkarskich (1JP) jest ocena ich wpływu na końcowy wynik, nie uwzględniając poziomu sportowego (= czasu biegu).

Ocenę procentową czasu poszczególnych jednostek płotkowych w 100% puli czasu końcowego przedstawiono w tabeli 3.2.34. Dane dowodzą największego zróżnicowania (SD) w początkowej i końcowej części dystansu – płotki 1–4, a w szczególności ostatni odcinek (h9-10). Jeszcze większe różnice dotyczą odcinków bez płotków – dobiegu i odcinka finiszowego. Świadczą o tym największe współczynniki zmienności – tabela 3.2.35.

Podstawowe statystyki

Analiza procentowego (%) czasu pokonania kolejnych części biegu w stosunku do wyniku końcowego jest jednym z elementów oceny strategii biegu na dystansie 400 m przez płotki. Dane uwzględniające pojedyncze jednostki płotkarskie (1JP) wskazują na negatywny wpływ zbyt szybkiego pokonania dobiegu do pierwszego płotka ($r = -0,40$, $p \leq 0,001$). Istotne znaczenie czasu pokonania dystansu na granicy pierwszej prostej i początku drugiego wirażu dotyczy wyłącznie analizy uwzględniającej bieg między płotkami (%4-6; $r = 0,12 - 0,18$, $p \leq 0,05-0,01$) – tabela 3.2.34. Wyniki analizy wskazują także na istotne znaczenie szybkiego pokonania odcinka finiszowego ($p \leq 0,01$).

W sumie – ocena procentowego udziału pojedynczych jednostek płotkarskich w końcowym wyniku, poza odcinkami „bez płotków” nie wnosi istotnych danych, sugerując indywidualne strategii biegu.

Tabela 3.2.34.

Czasowe parametry procentowe (podstawowe) – 1JP (n = 277)

Zmienna	x	SD	W zm	Min-max	Med	Sk	Kur	rT400H	rT1-10H
%t0-1	12,33	0,26	2,09	11,57–12,93	12,34	-0,21	-0,02	-0,37***	-0,40***
%t1-2	7,72	0,23	2,97	7,12–8,59	7,73	0,37	0,85	-0,06	0,04
%t2-3	7,82	0,22	2,80	7,20–8,75	7,82	0,25	1,41	-0,08	0,08
%t3-4	7,98	0,22	2,77	7,50–9,22	7,96	1,23	4,51	-0,04	0,12*
%t4-5	8,17	0,19	2,37	7,54–8,97	8,16	0,22	1,27	0,02	0,18**
%t5-6	8,42	0,20	2,38	7,84–9,20	8,41	0,38	1,00	-0,03	0,15*
%t6-7	8,71	0,19	2,23	8,25–9,25	8,72	0,02	-0,32	-0,06	0,06
%t7-8	8,97	0,18	2,02	8,48–9,55	8,96	0,10	0,12	0,02	0,07
%t8-9	9,27	0,19	2,06	8,76–9,88	9,27	0,09	-0,18	0,07	0,05
%t9-10	9,58	0,25	2,63	9,07–11,07	9,55	0,93	3,70	0,11	0,01
%t10-F	11,00	0,53	4,79	9,53–13,61	10,96	1,07	3,22	0,17**	0,18**

* $p \leq 0,05$, *** $p \leq 0,01$

Grupując zmienne w dłuższe odcinki biegu (2-4 JP) zauważ się negatywny wpływ zbyt szybkiego (w stosunku do możliwości) pokonania pierwszej części biegu i akcentowania strategii biegu skupionej na biegu po 5. płotku. Analizy te jednak w znacznej mierze opierają się na znaczeniu biegów przed pokonaniem płotka (%t0-1) oraz po zejściu z ostatniej przeszkody (t10-F).

Tabela 3.2.35.

Czasowe parametry procentowe (dodawane i szacowane)

Zmienna	x	SD	Min-max	Med	Sk	Kur	r (400H)	r (T1-10)
1. Parametry czasowe dodawane (2 JP) -%								
%T1-3	15,54	0,38	14,41-16,71	15,55	0,05	0,57	-0,09	0,07
%T3-5	16,15	0,35	15,08-17,81	16,14	0,88	1,65	-0,02	0,17**
%T6-8	17,13	0,30	16,10-17,81	17,14	-0,16	-0,29	-0,03	0,14*
%T8-10	18,85	0,38	17,95-20,50	18,83	0,46	0,76	0,12*	0,08
2. Parametry czasowe dodawane (3 JP) -%								
%T1-4	23,52	0,50	22,02-25,26	23,49	0,15	0,71	-0,08	0,10
%T4-7	25,30	0,37	24,14-26,60	25,28	0,05	0,29	-0,05	0,21***
%T7-10	27,82	0,43	26,69-29,53	27,81	0,20	0,32	0,11	0,05
3. Parametry czasowe dodawane (4 JP) - %								
%T1-5	31,69	0,60	29,82-34,05	31,64	0,26	0,92	0,06	0,15*
%T6-10	36,53	0,47	35,11-38,34	36,52	0,01	0,47	0,08	0,08
4. „Ćwiartki” dystansu								
%T _I 100H	24,51	0,45	23,24-25,92	24,53	-0,15	0,19	-0,27***	0,18**
%T _{II} 100H	23,11	0,42	21,91-24,97	23,10	0,53	1,30	-0,04	0,19**
%T _{III} 100H	24,99	0,36	23,77-25,96	24,99	-0,18	-0,01	-0,05	0,19**
%T _{IV} 100H	27,39	0,77	25,75-30,28	27,35	0,47	0,38	0,20***	-0,06
5. „Połówki” dystansu								
% _I 200H	47,63	0,70	45,26-49,62	47,68	-0,24	0,34	-0,20***	0,00
% _{II} 200H	52,37	0,70	50,38-54,74	52,32	0,24	0,34	0,20***	0,00

Tabela 3.2.36.

Procentowe wskaźniki rytmowe

Zmienna	x	SD	Min-max	Med	Sk	Kur	r	Nr
T ₁₋₅ %1-10H	41,33	0,68	39,63-43,92	41,27	0,57	1,44	-0,08	292
T ₆₋₁₀ %1-10H	47,65	0,68	45,39-50-17	47,63	0,05	0,60	0,07	293
T ₁₋₄ %1-10H	30,68	0,59	29,14-33,09	30,63	0,42	1,41	-0,09	294
T ₄₋₇ %1-10H	33,00	0,38	31,66-34,44	32,98	0,08	0,82	-0,07	295
T ₇₋₁₀ %1-10H	36,28	0,64	34,49-38,64	36,29	0,19	0,22	-0,09	296
T ₁₋₃ %1-10H	20,27	0,46	19,11-21,89	20,26	0,23	0,68	-0,09	297
T ₃₋₅ %1-10H	21,06	0,41	19,87-23,00	21,05	1,05	3,44	-0,03	298
T ₆₋₈ %1-10H	23,06	0,35	22,15-24,26	23,06	-0,02	0,38	-0,03	299
T ₈₋₁₀ %1-10H	24,59	0,55	23,24-26,83	24,57	0,37	0,45	0,11_{ns}	300

Analiza procentowych wskaźników uwzględniających wyłącznie bieg między płotkami (tabela 3.2.36) nie wnosi istotnych informacji w ocenę strategii biegu.

Przyjęcie wskaźników jako parametrów mistrzostwa sportowego, a w konsekwencji typologii płotkarzy było jednym z celów pracy. Niestety cel ten nie został w pełni zrealizowany. W publikacji Iskry (...) przyjęto *a priori* podział na 6 wskaźników:

1. Wskaźnik przyspieszenia płotkarskiego (%T0-1)
2. Wskaźnik „szybkości” płotkarskiej (%T1-3)
3. Wskaźnik techniki płotkarskiej (%T3-5)
4. Wskaźnik „rytmu” płotkarskiego (%T6-8)
5. Wskaźnik wytrzymałości płotkarskiej (%T8-10)
6. Wskaźnik wytrzymałości beztlenowej (%T10-F).

Z badawczego (statystycznego) punktu widzenia najbardziej przydatne w ocenie mistrzostwa sportowego płotkarzy wydają się wskaźniki 1, 3 i 6.

Z praktycznego punktu widzenia najlepsze w analizach strategii wydają się jednak bezwzględne zmienne czasowe.

Analiza dodatkowych (różnice i proporcje) parametrów czasowych w ocenie strategii biegu na 400 m przez płotki skłania do poszukiwania najbardziej predyktywnych w stosunku do finalnego rezultatu – tabele 3.2.37 i 3.2.38.

Tabela 3.2.37

Wskaźniki i współczynniki czasowe wybranych fragmentów biegu na 400 m

Część dystansu	1. Wskaźniki procentowe (11)	2. Wskaźniki różnic (10)	3. Wskaźniki proporcji (10)
1. „Połówki”	T1-5% 400H T1-5% H1-10 T6-10% 400H T6-10% H1-10	$t(6-10) - t(1-5)$	$t(1-5)/t(6-10) \times 100$
2. Wiraż (1)	t0-1 T0-2 t1-3% 400H		$t(1-3)/t(3-5) \times 100$
3. Wiraż (1) + Prosta (1)	t1-4% 400H t1-4% H1-10	$t(4-7) - t(1-4)$	$t(1-4)/t(4-7) \times 100$
4. Prosta (1)	t3-5% 400H t3-5% H1-10	$t(3-5) - t(1-3)$	
5. Prosta (1) + Wiraż (2)	t4-7% 400H t4-7% H1-10		
6. Wiraż (2)	t6-8% 400H t6-8% H1-10	$t(6-8) - t(1-3)$ $t(6-8) - t(3-5)$	$t(1-3)/t(6-8) \times 100$ $t(3-5)/t(6-8) \times 100$
7. Wiraż (2) + Prosta (2)	t7-10% 400H t7-10% H1-10	$t(7-10) - t(4-7)$ $t(7-10) - t(1-4)$	$t(4-7)/t(7-10) \times 100$ $t(1-4)/t(7-10) \times 100$
8. Prosta (2)	t8-10% 400H t8-10% H1-10	$t(8-10) - t(1-3)$ $t(8-10) - t(3-5)$ $t(8-10) - t(6-8)$	$t(1-3)/t(8-10) \times 100$ $t(3-5)/t(8-10) \times 100$ $t(6-8)/t(8-10) \times 100$
9. Dobieg	t(0-1)%400H		
10. Wybieg	t(10-F)%400H		

Tabela 3.2.38.

Wybór zmiennych w obszarze różnic/proporcji w wybranych częściach dystansu

Zmienna	1. Różnice parcjalne	2. Procentowe różnice parcjalne	3. Procentowe proporcje parcjalne	1	2	3
$T_{6-10} \vee T_{1-5}$	$T_{6-10} - T_{1-5}$	$T_{6-10} - T_{1-5} / T_{1-5} \times 100$	$T_{6-10} / T_{1-5} \times 100$	0,15	0,08	-0,08
$T_{4-7} \vee T_{1-4}$	$T_{4-7} - T_{1-4}$	$T_{4-7} - T_{1-4} / T_{1-4} \times 100$	$T_{4-7} / T_{1-4} \times 100$	0,09	0,05	-0,05
$T_{6-8} \vee T_{1-3}$	$T_{4-7} - T_{1-4}$	$T_{4-7} - T_{1-4} / T_{4-7} \times 100$	$T_{4-7} / T_{1-4} \times 100$	0,16	0,10	-0,10
$T_{7-10} \vee T_{1-4}$	$T_{7-10} - T_{1-4}$	$T_{7-10} - T_{1-4} / T_{1-4} \times 100$	$T_{7-10} / T_{1-4} \times 100$	0,18	0,10	-0,10
$T_{3-5} \vee T_{1-3}$	$T_{3-5} - T_{1-3}$	$T_{3-5} - T_{1-3} / T_{1-3} \times 100$	$T_{3-5} / T_{1-3} \times 100$	0,08	0,06	-0,06
$T_{6-8} \vee T_{1-3}$	$T_{6-8} - T_{1-3}$	$T_{6-8} - T_{1-3} / T_{1-3} \times 100$	$T_{6-8} / T_{1-3} \times 100$	0,11	0,05	-0,05
$T_{8-10} \vee T_{1-3}$	$T_{8-10} - T_{1-3}$	$T_{8-10} - T_{1-3} / T_{1-3} \times 100$	$T_{8-10} / T_{1-3} \times 100$	0,19	0,12	-0,12

$T_{6-8}vT_{3-5}$	$T_{6-8}-T_{3-5}$	$T_{6-8}-T_{3-5}/T_{3-5} \times 100$	$T_{6-8}/T_{3-5} \times 100$	0,05	0,01	-0,01
$T_{8-10}vT_{3-5}$	$T_{8-10}vT_{3-5}$	$T_{8-10}vT_{3-5}/T_{3-5} \times 100$	$T_{8-10}/T_{3-5} \times 100$	0,15	0,08	-0,08
$T_{8-10}vT_{6-8}$	$T_{8-10}vT_{6-8}$	$T_{8-10}vT_{6-8}/T_{6-8} \times 100$	$T_{8-10}/T_{6-8} \times 100$	0,15	0,13	-0,13

Dane wskazują na możliwość wykorzystania w analizie strategii biegu niektórych bezwzględnych różnic czasowych – tabela 3.2.39. Przeliczniki procentowe (w obydwu wariantach – różnic i proporcji) wydają się nieprzydatne.

Wnioski:

1. Wykorzystanie czasowych wskaźników procentowych w opracowaniu strategii biegu na 400 m przez płotki ma ograniczone znaczenie.
2. Wskaźniki procentowe wskazują na indywidualne traktowanie strategii czasowej biegu między płotkami. Tylko procentowy udział czasu pokonania odcinków „bez płotków” (dobieg do pierwszego płotka i odcinek finiszowy) ma jednoznaczne znaczenie w opracowaniu czasowego planu biegu.
3. Procentowy rozkład tempa biegu między 3. a 6. płotkiem ma istotny związek z poziomem sportowym płotkarzy.

Wnioski aplikacyjne

1. Dobieg do pierwszego płotka należy traktować jako znaczący element „układanki” strategii biegu i musi być dostosowany do możliwości płotkarza. W procesie szkolenia należy traktować „dobieg” nie jako standardowe przyspieszenie sprinterskie lecz specyficzne przyspieszenie płotkarskie.
2. O mistrzostwie sportowym płotkarzy świadczy m.in. utrzymanie optymalnej prędkości biegu w czasie „wejście” w drugi wiraż, co wiąże się zwykle z pierwszymi zmianami rytmu kroków. Ten fragment biegu musi być precyzyjnie opracowany w czasie specjalistycznego treningu.

Piśmiennictwo*

Iskra 2019 (pełna identyfikacja na końcu pracy)

3.2.8. Międzyczasy („touchdown times”)

Pytania:

1. Który międzyczas biegu może decydować o mistrzostwie w biegu na 400 m przez płotki?
2. Czy ujęcie międzyczasów bez uwzględnienia odcinków bez pokonywania płotków (0–45, 360–400 m) zmienia koncepcję międzyczasów klasycznych?
3. Czy uwzględnienie międzyczasów „od końca” wnosi znaczące informacje do strategii biegu na 400 m ppł.?

Wprowadzenie

Międzyczasy (=split times) to jedno z najbardziej popularnych narzędzi w ocenie strategii biegu na 400 m przez płotki.

Systematycznie dodawane czasy poszczególnych odcinków (zwykle 11.) pozwalają na ocenę właściwego „tempa” biegu wg ogólnie przyjętych, precyzyjnie wyliczonych standardów. Uwzględnienie współczynnika determinacji pozwala na ocenę wartości (%) tego parametru w kontekście końcowego celu (=wynik w biegu na 400 m ppł).

Klasyczna forma międzyczasów obejmuje kolejne odcinki – dobieg, kolejne (9) odległości między płotkami oraz odcinek finiszowy (=”wybieg”) – tabela 3.2.39, część 1.

Jest oczywiste, że z chwilą pokonania kolejnych części biegu, ocena skuteczności przyjętej strategii biegu wzrasta z chwilą zbliżania się do mety.

Podstawowe statystyki

Tabela 3.2.39.

Międzyczasy klasyczne

Zmienna	x	SD	Min-max	Med	Sko	Kur	r	r ²
1. Międzyczasy klasyczne								
T ₀₋₁	5,63	1,44	5,42-0,6,42	6,00	0,28	0,40	0,36	0,11
T ₀₋₂	9,75	0,21	9,20-10,44	9,76	0,14	0,29	0,46	0,21
T ₀₋₃	13,55	0,28	12,84-14,60	13,58	0,19	0,30	0,52	0,27
T ₀₋₄	17,44	0,35	16,56-18,90	17,44	0,28	0,66	0,57	0,33
T ₀₋₅	21,41	0,42	20,40-23,00	21,40	0,32	0,35	0,63	0,40
T ₀₋₆	25,51	0,48	24,40-27,30	25,50	0,32	0,25	0,67	0,45
T ₀₋₇	29,74	0,53	28,58-31,60	29,70	0,40	0,14	0,72	0,52
T ₀₋₈	34,11	0,57	32,88-36,10	34,10	0,37	0,09	0,78	0,61
T ₀₋₉	38,62	0,62	32,88-36,10	38,60	0,43	0,15	0,85	0,72
T ₀₋₁₀	43,28	0,67	41,58-45,80	43,29	0,44	0,20	0,92	0,85
T _{0-F}	48,63	0,76	46,78-51,50	48,55	0,44	0,08	1,00	1,00
2. Międzyczasy „rytmowe”								
T ₁₋₂	3,75	0,12	3,50-4,31	3,76	0,67	1,56	0,41	0,17
T ₁₋₃	7,56	0,21	7,04-8,40	7,56	0,42	0,72	0,48	0,23
T ₁₋₄	11,44	0,29	10,76-12,70	11,40	0,50	0,89	0,54	0,29
T ₁₋₅	15,41	0,36	14,50-16,80	15,40	0,45	0,46	0,60	0,36
T ₁₋₆	19,51	0,43	18,40-21,10	19,50	0,41	0,33	0,64	0,41

T ₁₋₇	23,75	0,48	22,70-25,40	23,70	0,44	0,16	0,70	0,49
T ₁₋₈	28,11	0,52	26,96-29,90	28,10	0,41	0,20	0,77	0,59
T ₁₋₉	32,62	0,57	31,26-34,70	32,60	0,45	0,26	0,84	0,71
T ₁₋₁₀	37,28	0,62	35,66-39,60	37,20	0,46	0,25	0,91	0,83

Najczęściej wykorzystywanym parametrem czasowym w ocenie „taktiki” biegu jest międzyczas po 5. płotku, co jest w przybliżeniu jednoznaczne z pierwszą częścią biegu. Parametr ten w 40% pozwala na ocenę finalnego rezultatu. Po 7. płotku pewność sięga powyżej 50%, po 8. płotku prawie 60% a po pokonaniu ostatniego odcinka 83%. Wobec tego 17% wysiłku płotkarz pozostaje na ostatnie 40 m.

Dodatkowym źródłem informacji może być analiza wykluczająca odcinki bez płotków (T₁₋₁₀, bez czasu dobiegu i wybiegu) tabela 11, cz. 2. Mierząc tylko te wartości ocena skuteczności strategii biegu zostaje nieco obniżona – T₀₋₅/T₁₋₅ = r = 0,63/0,60, T₀₋₈/T₁₋₈ = odpowiednio 0,78/0,88. W tej części analizy nie wydaje się konieczne przeprowadzenie dodatkowych obliczeń. Próbą uzyskania dodatkowych informacji jest ocena międzyczasów biegu dodawanych „od końca”, czyli od linii mety „do tyłu”.

Tabela 3.2.40.

Międzcasy „od końca”

Zmienna	x	SD	Min-max	Med	Sko	Kur	r	r ²
3. Międzcasy „od końca” (400 m H)								
T _{0-F}	48,64	0,74	46,78-50,46	48,59	0,25	-0,50	1,00	-
T _{1-F}	42,65	0,71	40,86-44,34	42,59	0,26	-0,46	0,98	0,96
T _{2-F}	38,89	0,67	37,20-40,58	38,84	0,27	-0,47	0,96	0,92
T _{3-F}	35,09	0,65	33,54-36,88	35,02	0,28	-0,34	0,93	0,86
T _{4-F}	31,20	0,61	29,84-32,96	31,17	0,26	-0,21	0,89	0,79
T _{5-F}	27,23	0,58	25,92-29,06	27,21	0,32	-0,00	0,83	0,69
T _{6-F}	23,13	0,55	21,99-25,06	23,11	0,46	0,21	0,76	0,58
T _{7-F}	18,89	0,52	17,72-20,76	18,87	0,55	0,52	0,71	0,50
T _{8-F}	14,53	0,47	13,52-16,36	14,50	0,69	0,91	0,63	0,40
T _{9-F}	10,02	0,40	9,12-11,86	9,99	0,84	1,65	0,55	0,30
T _{10-F}	5,36	0,30	4,48-6,96	5,33	1,11	3,66	0,45	0,20
4. Międzcasy „od końca” („rytmowe”)								
T ₁₋₁₀	37,28	0,62	35,66-39,60	37,20	0,46	0,25	0,91	0,83
T ₂₋₁₀	33,52	0,57	32,00-35,60	33,50	0,42	0,15	0,91	0,83
T ₃₋₁₀	29,72	0,52	28,34-31,36	29,70	0,32	-0,10	0,90	0,81
T ₄₋₁₀	25,84	0,46	24,60-27,26	25,80	0,19	-0,22	0,89	0,79
T ₅₋₁₀	21,86	0,42	20,86-23,07	21,80	0,18	-0,21	0,84	0,71
T ₆₋₁₀	17,77	0,37	16,90-18,75	17,72	0,20	-0,32	0,79	0,62
T ₇₋₁₀	13,53	0,31	12,84-14,40	13,50	0,27	-0,16	0,74	0,55
T ₈₋₁₀	9,17	0,24	8,68-10,00	9,16	0,45	0,11	0,67	0,45
T ₉₋₁₀	4,66	0,15	4,38-5,40	4,64	0,71	1,53	0,58	0,34

T₉₋₁₀ - odcinki zawarte we wcześniejszych tabelach

Analiza międzyczasów mierzonych od linii mety wstecz (tabela 3.2.40, cz.3) wskazuje na fakt, iż ocenianie strategii biegu wyłącznie z punktu biegu po wyjściu na ostatnią prostą jest błędne. Czas pokonania odcinka po wyjściu z drugiego wirażu (T_{8-F}) daje nam nadzieję na końcowy wynik tylko

w 40%. Ocena czasu biegu od 7. płotka ($r^2 = 0,50$) a szczególnie od 5 płotka ($r^2 = 0,69$) to ważne informacje w analizie strategii biegu.

Uwzględniając wyłącznie odległości między płotkami wysoka zależność ($\geq 0,70$) dotyczy wszystkich końcowych odcinków od 7. płotka. (tabela 3.2.41, cz. 4). Ostatnie odcinki międzypłotkowe wyraźnie zmniejszają zależność.

Uwaga – dane z tabel 3.2.41 i 3.2.42 mogą się nieznacznie różnić. Analizy obejmowały grupy różniące się liczbą badanych.

Analiza czynnikowa – wybór międzyczasów

W celu znalezienia elementów wspólnych międzyczasów określonych w różnych wariantach przeprowadzono analizę czynnikową.

Wyniki analizy czynnikowej akcentują znaczenie środkowej części biegu (T4-F, T5-F, T3-10) – czynnik I. Czynnik II wyraźnie zaznacza specyfikę pierwszej i końcowej części biegu. Czynniki III i IV jeszcze wyraźniej wyróżniają odrębny charakter początkowej fazy biegu.

Tabela 3.2.41.

Analiza czynnikowa uwzględniająca wszystkie warianty międzyczasów

Zmienna	PC1	PC2	PC3	PC4	Ważność zmiennych	Siła zmiennych
1. Międzyczasы klasyczne						
t0-1			0,57	0,61	20	0,98
T0-2	0,58	0,54	0,54		14	0,97
T0-3	0,68	0,60			10	0,98
T0-4	0,73	0,63			22	0,96
T0-5	0,75	0,62			25	0,95
T0-6	0,77	0,61			13	0,97
T0-7	0,79	0,57			4	0,99
T0-8	0,83				3	0,99
T0-9	0,88				9	0,98
T0-10	0,94				1	0,99
T400H	0,94				=33	0,93
2. Międzyczasы klasyczne (między płotkami)						
t1-2	0,59	0,55			40	0,82
T1-3	0,69	0,60			24	0,96
T1-4	0,71	0,62			28	0,95
T1-5	0,73	0,60			29	0,95
T1-6	0,75	0,58			15	0,97
T1-7	0,78	0,53			8	0,98
T1-8	0,82				7	0,98
T1-9	0,88				11	0,98
T1-10	0,94				2	0,99

1. Międzyczasy „od końca”						
T400H	0,94				33	0,93
T1-F	0,81	-0,53			23	0,96
T2-F	0,80	-0,51			30	0,94
T3-F	0,82	-0,50			37	0,91
T4-F	0,89				39	0,89
T5-F	0,89				21	0,97
T6-F	0,78	-0,60			12	0,98
T7-F	0,63	-0,75			=6	0,99
T8-F	0,63	-0,75			=6	0,99
T9-F	0,57	-0,77			32	0,93
t10-F	0,57	-0,77			31	0,93
4. Międzyczasy od końca (między płytkami)						
T1-10	0,84				27	0,95
T2-10	0,86				39	0,91
T3-10	0,96				=17	0,97
T4-10	0,96				=17	0,97
T5-10	0,93				36	0,93
T6-10	0,85				26	0,95
T7-10	0,65	-0,72			=19	0,97
T8-10	0,65	-0,77			=19	0,97
t9-10	0,56	-0,77			35	0,93
Wartości własne **	24,43	10,86	1,68	1,25		
Wartości własne skumulowane	24,43	35,29	36,97	38,22		
Wartości własne %	61,11	27,17	4,19	3,01		
Wartości własne skumulowane (%)	61,11	88,28	92,47	95,45		

*W tabeli uwzględniono ładunki powyżej 0,50

**W analizie zawarto czynniki o wartości własnej powyżej 1

Wnioski:

1. Po 7. płotku ($r = 0,72$, $r^2 = 52$) możemy z prawdopodobieństwem jedynie połowicznym (50%) określić prawdopodobieństwo skuteczności (czasu, zwycięstwa) biegu na 400 m przez płotki.
2. Po „wyjściu” na prostą ($h8$, $r = 0,78$, $r^2 = 0,61$) zależność ta wzrasta do 60%.
3. Po pokonaniu ostatniego płotka (t_{10}) pewność zwycięstwa wzrasta do 72% ($r = 0,92$, $r^2 = 0,85$). A więc na ostatnie 40 m wysiłku pozostaje 15% możliwości końcowej fazy rywalizacji).
4. Odcinek od 7. płotka do mety to połowa sukcesu w biegu na 400 m ppł ($r^2 = 50$).

Wnioski aplikacyjne

1. Przygotowanie plotkarza do pokonania dystansu do połowy drugiego wirażu to tylko połowa akcentów treningowych.
2. Bieg po 7. płotkiem wymaga wykorzystanie środków treningowych w zakresie „wytrzymałości rytmowej długiej”.
3. Dobieg to element przygotowania technicznego (akcja startowa) – szybkościowego (przyspieszenie startowe). Odcinek finiszowy wymaga specyficznych umiejętności rywalizacji przy krańcowym zmęczeniu wysiłkiem beztlenowym.

Piśmiennictwo uzupełniające*

- Ałabin i Majszutowicz 1973
Ballesteros 1992
Barac i wsp. 1992
Behm 2014-2021
Boczwarow 1985
Boyd 2004
Bozow 1982
Brogli i Krastew 1974
Brice 2018
Brüggeman i wsp. 1999
DAI i SONG 2011
Ditroilo i Marini 2000
Gasilewski i Hyjek 2009
Greene 2009
Guex 2012
Haughton 2016
Hiserman 2008
Iskra – głównie 1994d, 1996d, 1997a, 1998, 1999a, 2012b,
Iskra i Nowak 1991
Iskra i Walaszczyk 2007a
Januszewski 2004

Jonath 1960
Letzelter i Steinmann 1990
Lindeman 1995
McFarlane 1976-2004
Moravec i wsp. 1990
Moriorka 1997
Pacua 1996
Predergast 1991
Quercetani 2009
Railsback 1990
Righi 1986
Sanchez i wsp. 2011ab
Schmolinky 1978
Schubert 1993
Singh 1980
Susanka 1987
Vittori 1998
Winckler 2008
Yasui i wsp. 1996

*szczegóły identyfikacji źródeł podano na końcu pracy

3.3. Parametry przestrzenne (liczba kroków)

Pytania:

1. Czy minimalna liczba kroków ma istotne znaczenie w aspekcie końcowego wyniku biegu?
2. Która część dystansu wymaga specjalnego uwzględnienia „rytmu” kroków

O skuteczności rywalizacji w biegach lekkoatletycznych decydują dwa podstawowe parametry kroku biegowego – długość i częstotliwość (patrz rozdział następny). Liczba kroków wykonywanych na dystansie (lub w jego fragmencie) pośrednio informuje o długości kroków. Analiza liczby kroków wykonywanych w poszczególnych odległościach między płotkami (35 m) jest jednym z najbardziej wykorzystywanych elementów oceny skuteczności biegu na 400 m przez płotki (patrz piśmiennictwo poniżej).

„*Stride pattern*”, czyli wzorzec kroków wykonywanych między płotkami, czy, w ujęciu trenerskim, „rytm płotkarski”, to podstawowy element struktury przestrzennej. Biegu na 400 m przez płotki. Podstawą oceny tego aspektu biegu jest liczba kroków wykonywanych w kolejnych jednostkach płotkarskich (1JP, jedna odległość międzypłotkowa).

Podstawowe parametry przestrzenne

Liczba kroków wykonywanych w kolejnych odległościach między płotkami jest od blisko 100. lat (Igrzyska w 1928 r. i bieg Lorda Burghley’a) przedmiotem analizy naukowej i szkoleniowej. Dla wielu minimalna liczba kroków jest miarą mistrzostwa sportowego w tej konkurencji. To nie zawsze prawda, jednakże często to kryterium wydaje się najważniejsze. Ewolucja analizy rozpoczyna się na 17. krokach wykonywanych w latach 1920–1950, poprzez „rytm” 15-krokowy (klasyka lat 1950–60) i model 13-krokowy Edwina Mosesa aż po próby 12-krokowe Kevina Younga. W każdym okresie przeplatały się różne modele „*stride pattern*”, które opisano w kolejnych rozdziałach. Liczba kroków między jednostkami 1JP to grupa ważnych zmiennych w analizie strategii biegu na 400 m przez płotki (patrz: piśmiennictwo uzupełniające).

Podstawowe statystyki

Tabela 3.3.1.

Parametry przestrzenne – podstawowe (n = 296)

Grupa parametrów	Zmienne	x	SD	Min-max	Sk	Med	Ku	r
1. Dobieg	n0-1*	20,67	0,84	19-25	1,03	21	3,13	0,15
2. Parametry podstawowe	n1-2 n2-3	13,29 13,29	0,61 0,62	12-15 12-15	1,58 1,48	13 13	1,94 1,82	0,20* 0,22*

(9x)JP)	n3-4	13,2	0,63	12-15	1,40	13	1,74	0,24*
	n4-5	8	0,63	12-15	1,28	13	1,24	0,23*
	n5-6	13,32	0,71	13-16	0,98	13	-0,13	0,25*
	n6-7	13,54	0,72	13-16	0,08	14	-0,90	0,32*
	n7-8	13,98	0,76	13-16	-	14	1,05	0,33*
	n8-9	14,22	0,64	13-16	0,30	15	-0,04	0,29*
	n9-10	14,54	0,64	13-17	-	15	1,31	0,28*
		14,68			0,78			
					-			
				0,47				

$R = 0,11$ dla $p \leq 0,05$, $r = 0,15$ dla $p \leq 0,01$, $r = 0,19$ dla $p \leq 0,001$; * $n = 183$

Najlepsi płotkarze świata pierwszą część dystansu (nawet do 6. płotka) biegają „rytmem” 13-krokowym (tabela 3.3.1, Med). Najmniejszą liczbę kroków płotkarze wykonują na pierwszej prostej (n3-4), kiedy prędkość biegu jest największa. Na wirażu (N6-8) płotkarze „dodają” jeden/dwa kroki, zmieniając nogę atakującą. Końcówka dystansu (N8-10) to powtórne dodanie kolejnego kroku (lub w dalszym ciągu utrzymując ten sam rytm) i powrót do „lepszej” nogi atakującej.

Liczba kroków wykonywanych w biegu od startu do pierwszego płotka (tzw. dobieg) i na finiszowych metrach (tzw. wybieg) jest rzadziej analizowana.

Liczba wykonywanych kroków na pierwszym odcinku 45-metrowym (19-25; średnio 21) to ważny fragment biegu, analizowany ostatnio przez Ozaki i wsp. 2019.

W początkowym fragmencie biegu zdecydowanie przeważa „rytm” 13-krokowy, w części środkowej 13–14-krokowy, a na ostatniej prostej 14–15-krokowy.

Dotychczas nie skupiano się na liczbie kroków wykonywanych na 40-metrowym odcinku finiszowym. Z nielicznych danych wynika, że zawodnicy na tym dystansie wykonują 20–22 kroki.

Analiza korelacji

Liczba kroków wykonywanych w poszczególnych jednostkach płotkarskich (1JP) ma na każdym etapie biegu znaczenie istotne statystycznie. Minimalna liczba kroków wpływa na zmniejszenie czasu biegu ($r = 0,20-0,30$, $p \leq 0,001$). Ograniczona liczba kroków ma szczególne znaczenie w biegu po drugim wirażu (n6-7 i n7-8; $r = 0,32-0,33$) – tabela 3.3.2. W początkowym fragmencie biegu zdecydowanie przeważa „rytm” 13-krokowy, w części środkowej 13–14-krokowy, a na ostatniej prostej 14–15-krokowy.

Tabela 3.3.2.

Współczynniki korelacji między wybranymi zmiennymi a końcowym wynikiem w biegu na 400 m przez płotki

1JP		2JP		3JP		4JP	
Zmienne	r	Zmienne	r	Zmienne	r	Zmienne	r
	$T_{400H/T1-10}$		$T_{400H/T1-10}$		$T_{400H/T1-10}$		$T_{400H/T1-10}$
n ₁₋₂	0,21/0,20	N ₁₋₃	0,23/0,22	N ₁₋₄	0,23/0,23	N ₁₋₅	0,24/0,24
n ₂₋₃	0,22/0,22						
n ₃₋₄	0,24/0,24	N ₃₋₅	0,25/0,25				
n ₄₋₅	0,23/0,23			N ₄₋₇	0,30/0,28		
n ₅₋₆	0,25/0,22	N ₅₋₇	0,35/0,30			N ₆₋₁₀	0,35/0,30
n ₆₋₇	0,32/0,28						
n ₇₋₈	0,33/0,29			N ₇₋₁₀	0,34/0,29		
n ₈₋₉	0,29/0,26	N ₈₋₁₀	0,30/0,25				
n ₉₋₁₀	0,28/0,22						

* – wszystkie zależności na poziomie $p = 0,001$

Tabela 3.3.3.

Współczynniki korelacji w obrębie wybranych grup zmiennych

Podstawowe jednostki płotkarskie									
JP	n1-2	n2-3	n3-4	n4-5	n5-6	n6-7	n7-8	n8-9	n9-10
n1-2	-								
n2-3	0,93	-							
n3-4	0,92	0,98	-						
n4-5	0,89	0,92	0,92	-					
n5-6	0,70	0,74	0,74	0,76	-				
n6-7	0,52	0,57	0,57	0,58	0,65	-			
n7-8	0,51	0,56	0,55	0,57	0,63	0,78	-		
n8-9	0,41	0,47	0,47	0,48	0,49	0,61	0,72	-	
n9-10	0,35	0,39	0,42	0,43	0,48	0,56	0,61	0,72	-

Poszukując związków pomiędzy liczbą kroków w kolejnych jednostkach płotkarskich zauważa się istotne zależności w pierwszej części dystansu (N1-5) zależności wyłącznie w sąsiadujących odległościach międzypłotkowych (np. n2-3/n3-4). W drugiej części biegu takie związki nie istnieją.

Parametry przestrzenne dodawane

Podstawowe statystyki

W sumie czołowi płotkarze świata wykonują 124 kroki między płotkami; ok. czterech kroków więcej w drugiej części dystansu (odpowiednio N1-5 i N6-10 – 53/57 kroków) Ten wzrost jest przyczyną zmiany „rytmu” biegu, co stanowi niejednokrotnie podstawę do opracowania strategii biegu – tabela 3.3.4.

Tabela 3.3.4.

Parametry przestrzenne – dodawane (1); n = 296

Grupa parametrów	Zmienny	x	SD	Min-max	Sk	Med	Ku	r (400H)
1. Całość	N1-10	124,14	4,90	113-141	0,66	123	0,21	0,32*
2. „Połówki”	N1-5	53,18	2,45	48-60	1,46	52	1,76	0,24*
	N6-10	57,42	2,43	52-65	-0,44	58	- 0,32	0,35*
3. „1/3”	N1-4	39,86	1,83	36-45	4,59	39	1,52	0,23*
	N4-7	40,84	1,81	38-47	4,44	40	0,88	0,30*
	N7-10	43,44	1,84	39-49	-0,57	44	- 0,24	0,34*
4. „Ćwiartki”	N1-3	26,58	1,22	24-30	1,50	26	1,79	0,23*
	N3-5	26,60	1,24	24-30	1,35	26	1,62	0,25*
	N6-8	28,20	1,40	26,32	-0,15	28	-	0,35*
	N8-10	29,22	1,22	26,33	-0,76	30	0,86 0,50	0,30*

*p < 0,001

Analiza korelacji

Największe znaczenie utrzymania mniejszej liczby kroków ma między 6. a 8. płotkiem (N6-8 -r = 0,35) a, z uwzględnieniem większych części dystansu, N7-10 (r = 0,34) oraz N6-10 (r = 0,35) – tabela 3.3.4.

Tabela 3.3.5.

Współczynniki korelacji w obrębie wybranych grup zmiennych przestrzennych

Zmienna	N1-5	N6-10	N1-4	N4-7	N7-10	N1-3	N3-5	N6-8	N8-10
N1-5	-								
N6-10	0,58	-							
N1-4	1,00	0,57	-						
N4-7	0,86	0,80	0,83	-					
N7-10	0,54	0,98	0,52	0,71	-				
N1-3	0,99	0,55	1,00	0,82	0,51	-			
N3-5	0,99	0,60	0,98	0,88	0,56	0,96			
N6-8	0,61	0,93	0,59	0,85	0,86	0,58	0,62		
N8-10	0,47	0,91	0,45	0,61	0,96	0,44	0,49	0,71	-

Wszystkie parametry wskazują na decydujące znaczenie zmiany „rytmu” kroków na drugim wirażu (H6-8). W tym miejscu następują zmiany liczby kroków – im później, tym lepiej. Związek między liczbą kroków w pierwszej i drugiej części jest istotny (r = 0,58), jednakże daleki od innych, bardzo wysokich (powyżej 0,90) wartości. Podobna sytuacja ma miejsce innymi, oddalonymi od siebie odcinkami (N1-4/N7-10 – r = 0,52, N1-3/N8-10 – r = 0,44) – tabela 3.3.5.

„Międzykroki”

Podstawowe statystyki

Sumując liczby kroków wykonywanych między plotkami zauważa się wzrost znaczenia tej zmiennej na kolejnych etapach rywalizacji. W połowie biegu zależność wynosi $r = 0,24$, na koniec $r = 0,32$. We wszystkich przypadkach wartość jest istotna na poziomie 0,001 – tabela 3.3.6.

Tabela 3.3.6.

Parametry dodawane (2) – „międzykroki”

Zmienna	x	SD	Min-max	Sko	Med	Ku	r (400H)
N1-2	13,29	0,61	12-15	1,58	13	1,94	0,20*
N1-3	26,58	1,22	24-30	1,50	26	1,79	0,22*
N1-4	39,86	1,83	36-45	4,59	39	1,52	0,23*
N1-5	53,18	2,45	48-60	1,46	52	1,76	0,24*
N1-6	66,72	2,99	61-76	1,48	65	1,67	0,25*
N1-7	80,70	3,49	74-92	1,32	79	1,28	0,28*
N1-8	94,92	4,05	87-108	1,06	93	0,65	0,30*
N1-9	109,46	4,48	100-124	0,83	108	0,33	0,31*
N1-10	124,14	4,90	113-141	0,66	123	0,21	0,32*

$r = 0,11$ dla $p \leq 0,05$, $r = 0,15$ dla $p \leq 0,01$, $r = 0,19$ dla $p \leq 0,001$

Parametry przestrzenne – różnice

Podstawowe statystyki

Jednym z elementów analizy przestrzennej struktury biegu na 400 m przez plotki jest ocena różnic liczby kroków w poszczególnych fragmentach biegu. Tabela 3.3.7. potwierdza wcześniejsze spostrzeżenia (patrz tabela 3.3.6.). Im dalszy odcinek biegu, tym systematycznie wzrasta liczba wykonywanych kroków wzrasta. Na początku biegu zmiany są minimalne lub ich brak (rytm 13-krokowy). Końcowa prosta to rzadko utrzymanie stałego rytmu (13 lub 15 kroków), najczęściej jednak następuje wzrost o 1–2, a nawet 3 kroki.

Tabela 3.3.7.

Parametry przestrzenne – różnice

Zmienna	x	SD	Min-max	Med	Sk	Ku
N6-10-N1-5	4,22	2,25	0-9	4	-0,15	-0,60
N4-7-N1-4	0,98	1,05	(-1)-5	1	1,06	1,12
N7-10-N1-4	3,58	1,81	0-7	3	-0,25	-0,57
N7-10-N4-7	2,60	1,39	0-6	2	0,05	-0,12

N3-5-N1-3	0,02	0,33	(-2)-2	0	-0,75	19,66
N6-8-N1-3	1,63	1,21	(-1)-4	2	0,18	-0,53
N8-10-N1-3	2,65	1,30	0-5	2	-0,40	-0,58
N6-8-N3-5	1,60	1,17	0-4	2	0,16	-0,52
N8-10-N3-5	2,63	1,25	0-5	2	-0,40	-0,45
N8-10-N6-8	1,03	1,04	(-1)-4	1	0,64	-0,08

Analiza korelacji

Tabela 3.3.8.

Współczynniki korelacji między wybranymi zmiennymi a końcowym wynikiem w biegu na 400 m przez płotki

2JP	r T _{400H} /T ₁₋₁₀	3JP	r T _{400H} /T ₁₋₁₀	4JP	r T _{400H} /T ₁₋₁₀
N ₃₋₅ -N ₁₋₃	0,11/0,11	N ₄₋₇ -N ₁₋₄	0,13*/0,08	N ₆₋₁₀ -N ₁₋₅	0,13*/0,08
N ₆₋₈ -N ₁₋₃	0,18**/0,13*				
N ₈₋₁₀ -N ₁₋₃	0,07/0,04				
N ₆₋₈ -N ₃₋₅	0,15**/0,11	N ₇₋₁₀ -N ₁₋₄	0,11/0,07		
N ₈₋₁₀ -N ₃₋₅	0,05/0,01	N ₇₋₁₀ -N ₄₋₇	0,04/0,03		
N ₈₋₁₀ -N ₆₋₈	-0,12*/-0,11				

Analiza korelacji różnic liczby kroków w stosunku do czasu biegu (między płotkami i całego dystansu 400H) dowodzi istotności minimalnej różnicy między odcinkiem biegu na wirażu oraz na pierwszej prostej (N6-8/N1-3 – $r = 0,18$, $p \leq 0,01$). Charakterystyczne, że zależność ta jest większa w stosunku do całości dystansu (T400H) niż biegu wyłącznie między płotkami (T1-10) – tabela 3.3.8.

Parametry przestrzenne – uśrednione

Podstawowe statystyki

Czasami w piśmiennictwie przedstawia się uśrednione dane liczby kroków. Wyniki analizy, z podziałem na 2 części biegu, przedstawiono w tabeli 3.3.9.

Tabela 3.3.9.

Parametry przestrzenne uśrednione

Parametr	x	SD	Min-max	Med	Sk	Ku	r
xN1-10	13,79	0,54	12,56-15,67	13,67	0,65	0,21	0,32***
xN1-5	13,30	0,61	12,00-15,00	13,00	1,46	1,76	0,24***
xN6-10	14,36	0,60	13,00-16,25	14,50	0,44	-0,32	0,35***
xN6-10-xN1-5	1,06	0,55	0,00-2,25	1,00	-0,15	-0,58	0,13*

Analiza korelacji

Średnia liczba kroków wykonywanych w 9 jednostkach płotkarskich to $13,79 \pm 0,54$ kroków. Pierwsza część biegu to przede wszystkim rytm

13-krokowy (Med. – 13,00, średnia – 13,30), druga to to bieg w rytmie 14–15-krokowy (Med. – 14,50, średnia – 14,36). Różnica między końcową (N6-10) a początkową (N1-5) częścią biegu to zwiększenie o 1 (1,06) krok w każdej odległości między płótkami (tabela 3.3.9.). Wykorzystując analizę korelacji do oceny strategii biegu istotna jest zależność między średnią liczbą kroków w drugiej części dystansu a końcowym wynikiem ($r = 0,35$, $p \leq 0,001$).

Parametry przestrzenne – proporcje klasyczne

Podstawowe statystyki

Jednym ze sposobów analizy strategii biegu na 400 m przez płotki jest ustalenie proporcji liczby kroków w kolejnych odcinkach międzypłótkowych. Dane dowodzą, że największe różnice dotyczą środkowej i końcowej części biegu (N7-10 i N8-10) – tabela 3.3.10.

Tabela 3.3.10.

Parametry przestrzenne – proporcje klasyczne

Parametr	x	SD	Min-max	Med	Sk	Ku
N6-10/N1-5	1,08	0,04	1,00-1,17	1,08	-0,20	-0,73
N4-7/N1-4	1,03	0,03	0,98-1,13	1,03	0,96	0,90
N7-10/N1-4	1,09	0,05	1,00-1,18	1,08	-0,24	-0,63
N7-10/N4-7	1,06	0,04	1,00-1,15	1,05	0,07	-0,14
N3-5/N1-3	1,00	0,01	0,92-1,08	1,00	-0,34	8,62
N6-8/N1-3	1,06	0,05	0,96-1,15	1,08	0,09	-0,68
N8-10/N1-3	1,10	0,05	1,00-1,19	1,08	-0,44	-0,54
N6-8/N3-5	1,06	0,05	1,00-1,15	1,08	0,08	-0,67
N8-10/N3-5	1,10	0,05	1,00-1,19	1,08	-0,45	-0,42
N8-10/N6-8	1,04	0,04	0,97-1,15	1,04	0,75	0,11

Analiza korelacji

Tabela 3.3.11.

Współczynniki korelacji między wybranymi zmiennymi a końcowym wynikiem w biegu na 400 m przez płotki

2JP	r T _{400H} /T ₁₋₁₀	3JP	r T _{400H} /T ₁₋₁₀	4JP	r T _{400H} /T ₁₋₁₀
N3-5/N1-3	0,12*/0,12*	N4-7/N1-4	0,12*/0,06	N6-10/N1-5	0,10/0,06
N6-8/N1-3	0,16**/0,12*				
N8-10/N1-3	0,06/0,03				
N6-8/N3-5	0,14**/0,09	N7-10/N1-4	0,09/0,05		
N8-10/N3-5	0,03/-0,01	N7-10/N4-7	0,03/0,02		
N8-10/N6-8	-0,13*/0,11				

Zastosowanie wskaźników proporcji nie wnosi zbyt wiele do dalszej analizy (tabele 3.3.10. i 3.3.11.). Można je stosować wymiennie z różnicami kroków (patrz tekst powyżej).

Parametry przestrzenne – proporcje „rytmowe”

Inną formą analizy danych było uwzględnienie wyłącznie odległości między płótkami.

Podstawowe statystyki

Tabela 3.3.12.

Parametry przestrzenne – proporcje „rytmowe”

Parametr	x	SD	Min-max	Med	Sk	Ku	r
N1-4/N1-10	0,32	0,007	0,31-0,33	0,32	-0,10	-0,56	-0,11
N4-7/N1-10	0,33	0,005	0,32-0,35	0,33	0,15	1,62	0,05
N7-10/N1-10	0,35	0,008	0,33-0,39	0,35	-0,03	0,45	0,08
N1-5/N1-10	42,84	0,87	40,94-44,44	42,98	0,02	-0,53	-0,11
N6-10/N1-10	46,26	0,93	44,44-48,03	46,28	-0,19	-0,49	0,10
N1-4/N1-10%	32,11	0,69	30,47-33,33	32,23	-0,09	-0,51	-0,11
N4-7/N1-10%	32,90	0,48	31,50-35,04	32,80	0,22	1,69	0,05
N7-10/N1-10%	35,00	0,85	33,07-38,46	34,88	-0,01	0,36	0,08
N1-3/N1-10%	21,41	0,48	20,31-22,76	21,49	0,02	-0,35	-0,14
N3-5/N1-10%	21,43	0,44	20,47-22,22	21,49	0,00	-0,49	-0,08
N6-8/N1-10%	22,71	0,58	21,49-24,00	22,76	0,08	-0,14	0,17
N8-10/N1-10%	23,55	0,67	22,22-24,80	23,53	-0,27	-0,52	0,00

Najbardziej informacyjnym (= z punktu widzenia szkoleniowego – przydatnym) parametrem było ustalenie minimalnej liczby kroków w czasie biegu po wirażu (N6-8) w kontekście wszystkich kroków ocenianych w wartościach procentowych – tabela 3.3.12. Znaczna liczba kroków w tym fragmencie biegu rzutuje na cały dystans (r = 0,17).

Wnioski

1. Największe znaczenie w biegu na 400 m przez płotki ma utrzymanie minimalnej liczby kroków w drugiej części dystansu. W ocenie pojedynczych części biegu najważniejsze są n6-7 i n7-8, w analizie dłuższych odcinków – 2JP – N5-7, 3JP – N7-10, 4JP – N6-10.
2. W pierwszej części dystansu liczba wykonywanych kroków jest podobna; w drugiej zmiany są często nieprzewidywalne.
3. Różnica liczby kroków w pierwszej i drugiej części dystansu to średnio 4 kroki.
2. Minimalne zwiększenie liczby kroków na wirażu (H6-8) w stosunku do początkowej części dystansu (H1-3) charakteryzuje płotkarzy wysokiego poziomu sportowego.
3. Do oceny strategii przestrzennej można użyć parametru średniej liczby kroków w drugiej części dystansu.

Wnioski aplikacyjne

1. Celem treningu „rytmowego” powinno być utrzymanie liczby kroków na drugim wirażu. To zadanie wymaga realizacji specjalistycznego treningu technicznego w warunkach wzrastającego zmęczenia.
2. W organizacji treningu rytmowego należy wyraźnie rozdzielać rytm biegu w pierwszej jego części (13 kroków w warunkach braku zmęczenia) oraz części końcowej („rytm” parzysty, 14-krokowy lub rytm 15-krokowy).
3. Dodawanie kolejnych kroków na dystansie to podstawa przestrzennej organizacji biegu („*stride pattern*”), nazywanej często „rytmem” biegu.
4. Ćwiczenia zmiany liczby kroków na etapie biegu po drugim wirażu są podstawą treningu rytmowego plotkarzy wysokiego poziomu.
5. Minimalna liczba kroków w drugiej części biegu zmusza trenerów do doboru specyficznych form treningu rytmowego.

Piśmiennictwo*

- Babić i wsp. 2014
Boczwarow 1985
Behm 2014, 2019, 2021
Boyd 2000, 2004
Bozow 1983
Brawo 1982,
Brejzer i Wróblewski 1982,
Bravo 1982,
Brown 1998a,
Canova 1974,
Casal i wsp. 2020,
CHEN 2004,
Crossley 1988,
Ditroilo i Marini 2000,
Ecker 1977,
Gheorghe i Ivan 2019
Guex 2012,
GUO i ZHANG 2007,
Hemery i Houdson 1969,
Hirt 2002,
Ilin 1977,
Iskra 1994de, 1996ab, 1998, 1999a, 2003ab,
Iskra I Čoh 2006, 2011,
Iskra I Nowak 1991,
Jonath 1960, 1962,
Julin 1975, 1985,
Kawierin 1985,
Le Masurier 1977,

Letzelter 1979,
Leveque 1988,
Lindeman 1995,
Longden 1996,
McFarlane 1993a, 1994,
McGill 2020,
Moravec i wsp. 1990,
Otsuka i Isaka 2019,
Pacua 1996,
Partipilo i Ditroilo 1994,
Pedergast 1991,
Salazar i wsp. 2016,
Sanchez i wsp. 2011ab,
Schubert 1993,
Sedlacek 1986,
Singh 1980,
Štěpánek i wsp. 1990,
Torres i wsp. 2013,
Urtebise 2001,
Vanes 1980,
Vonstein 1995,
WANG i ZHANG 2003,
Winckler 1983,
Žukow i Denisenko 1982.

*pełna identyfikacja na końcu pracy

3.4. Parametry czasowo-przestrzenne (pośrednie)

Pytania:

1. Jak zmieniają się długość i częstotliwość kroków na kolejnych etapach biegu na 400 m przez płotki?
2. Czy częstotliwość kroków jest bardziej związana z ich liczbą czy z czasem ich realizacji?
3. Czy zmienna „długości kroku” jest odzwierciedleniem „*stride pattern*”?
4. Czy częstotliwość kroków jest miarą mistrzostwa sportowego w biegu na 400 m przez płotki?

Wprowadzenie

Poszukiwania parametrów łączących dwie podstawowe grupy zmiennych (czasowe – czasy poszczególnych odcinków oraz przestrzenne – liczbę kroków) skłoniły badaczy tego problemu do próby generowania nowych elementów w analizie strategii biegu na 400 m przez płotki. Kolejny parametr w ocenie mistrzostwa sportowego w tej konkurencji to częstotliwość kroków.

Parametry przestrzenno-czasowe pojawiły się w pionierskich pracach małżeństwa Letzelter (Helga i Manfred) w latach 1978–1983 a także w analizach Boczwara (1985).

Obecnie wykorzystanie tych parametrów jest ograniczone, jednakże ich obecność można zaobserwować w niektórych publikacjach (Guzman Colon 2013, Otsuka i Isaka 2019).

Częstotliwość (*frequency*) to w ogólnym ujęciu liczba zjawisk powtarzanych w czasie, a w ujęciu biegowym liczba kroków wykonywanych na określonym dystansie (*stride frequency*). W przypadku biegów płaskich pomiar i analiza wydają się proste, trudności następują w przypadku biegu na 400 m przez płotki, gdzie analiza „*touchdown times*” obejmuje czas od postawienia stopy kończyny atakującej za jednym z płotków do podobnej czynności wykonywanej za następnym płotkiem. W sumie podstawowa „jednostka płotkarska” obejmuje n kroków + krok płotkowy a analiza „*stride pattern*” dotyczy wyłącznie kroków między płotkami. Dodatkową trudnością w analizie jest zróżnicowana długość odcinka dobiegu do pierwszego płotka (45 m) oraz odcinka finiszowego (40 m) w stosunku do standardowej odległości między płotkami (35 m).

Ocena parametrów pośrednich

Wszystkie te elementy sprawiają, że problem długości i częstotliwości kroków w biegu na 400 m przez płotki jest złożony, często dyskusyjny.

Pionierską pracą dotyczącą wyboru parametrów w ocenie mistrzostwa sportowego w biegu na 400 m przez płotki dotyczą Helgi i Manfreda Letzel-

ter (1973–1985, także 2004). Przy nietypowym podziale na części dystansu autorzy określają cztery poziomy analizy biegu na 400 m przez płotki:

1. Czas końcowy biegu
2. Czasy cząstkowe (11 parametrów)
3. Długość i częstotliwość kroków
4. Analiza biomechaniczna (kinematyczna i dynamograficzna).

Letzelter H. (1983) długość i częstotliwość kroków oceniała z prostego podzielenia czasu dystansu między płotkami (T_{1-10}) i liczby kroków (N_{1-10}). Letzelter proponuje standardowe wzory:

$$L_{1-10} = 315/N_{1-10},$$

a szczegółowo: $l_{1-2} = 35/n_{1-2}$, $l_{2-3} = 35/n_{2-3}$, ...aż do l_{9-10}

Konsekwencją tego sposobu analizy jest wzór na częstotliwość kroków:

$$F_{1-10} = N_{1-10}/T_{1-10},$$

a detalicznie ; $f_{1-2} = n_{1-2}/t_{1-2}$, $f_{2-3} = n_{2-3}/t_{2-3}$, ...aż do f_{9-10}/t_{9-10} .

Dystans postawienia stopy kończyny atakującej (za płotkiem autorzy określają na 145 cm dla płotkarzy.

W analizie pominięto krok płotkowy, który nie tylko na całym dystansie dodawał 9 dodatkowych kroków ale przez swoją specyfikę (krok ten jest dłuższy od biegowego o 80-120 cm) znacznie utrudnił prostą analizę biegu płaskiego (bez płotków).

Tabela 3.4.1.

Liczba kroków między płotkami a średnia długość kroku płotkowego i kroków między nimi (wg Lindemann 1997, Jonath i wsp. 2004, Strüder 2013)

Liczba kroków (=rytm płotkarski”	Krok płotkowy (m)	Kroki międzypłotkowe (m)		
		Joch 1992 Lindemann 1997	Jonath i wsp. 2004	Strüder 2013
13	3,20	2,68	2,69	2,48
14	3,20	2,45	4,46	2,30
15	3,10	2,27	2,28	2,15
16	3,10	2,13	2,14	2,03
17	3,00	1,98	2,02	1,91
18	3,00	1,85	1,88	1,80

Joch (1992) określa częstotliwość kroków w granicach 3,25–3,50 m (s. 32)

Uwzględnienie kroku płotkowego w obliczaniu zmiennych pośrednich nawiązywały prace Wincklera (2000). Winckler proponuje następujący wzór:

$$L_{1-10} = 315 / N_{1-10} (-32 \text{ cm})$$

Dla przykładu: długość i częstotliwość kroków byłego rekordzisty świata Kavina Younga ($T_{1-10} = 35,66 \text{ s}$, $N_{1-10} = 115$)
 $L = (315 \text{ m} / 115 \text{ kroków}) - 32 \text{ m} = 2,74 - 32 = \underline{2,42 \text{ m}}$
F = 115 kroków / 35,66 s = 3,22 kroków/s.

Warto zwrócić uwagę, że ten sposób analizy nie uwzględnia kroku płotkowego. Różnica jest następująca:
F = 115+9 kroków / 35,66 s = 3,48 kroków/s

Kolejnym elementem modyfikacji danych jest różnica długości kroku płotkowego i kroku biegowego – dla płotkarzy najwyższego poziomu sportowego wartość ta wynosi ok. 70 cm. Przyjmując średnią długość kroku między płotkami jako 240 m, do analizy należy dodać nie sumaryczną długość dodatkowych 9 kroków, ale także ich uzupełnienie o ok. 0,25 s. taka jest różnica między czasem kroku płotkowego i kroku biegowego na dystansie 400 m przez płotki (Mann 2003–2018).

Wtedy końcowy wzór byłby następujący:

$$\mathbf{F = 124 kroki / 35,66 - 9 - 0,25 \text{ s} = 3,68 \text{ m/s}}$$

Przykładowe porównanie ostatniego, rekordowego wyczynu na Igrzyskach Olimpijskich Norwega Karstena Warholma wg trzech wzorów:

Wynik: 45,94 s (rekord świata i złoty medal olimpijski), czas odcinka $T_{1-10} = 35,20 \text{ s}$, rytm kroków – $8 \times 13 + 15 = 119$ kroków (bez kroków płotkowych) + 9 kroków płotkowych.

A. (Letzelter) – $119 / 35,20 = 3,38 \text{ m}$

B. B (Winclker) – $119 + 9 / 35,20 = 3,64 \text{ m}$,

C. C. (Propozycja własna) – $119 \text{ kroków międzypłotkowych} + 9 \text{ kroków płotkowych} / 35,20 \text{ s} (9 \times 0,25 \text{ s}) = 128 / 32,95 = 3,88 \text{ m}$.

Pomimo tej innowacji autor nie uwzględnia w pełni specyfiki kroku płotkowego. Powyższe 32 cm to 1/10 (pokonanie 10. płotków) średniej odległości pokonania płotka (320 cm). Odległość 320 jest uśredniona, jednakże, jak wskazuje tab. A odległości te mogą być zróżnicowane. Uwzględniając jednak wysoki poziom zaawansowania (13–15 kroków) wzór ten może być zastosowany w tej pracy.

Nieco inne, uwzględniające niższy poziom sportowy dane dostarcza Lindemann (1997)

Tabela 3.4.2.

Krok płotkowy – podstawowe parametry (Lindeman 1997)

Poziom sportowy	Krok płotkowy (m)	Proporcje bezwzględne (m)		Proporcje procentowe (%)	
		Przed płotkiem	Po płotkiem	Przed płotkiem	Po płotku
Mistrzowski	3,50	2,22	1,28	63,5	36,5
Średni	4,20	2,44	1,58	60,6	39,4
Podstawowy	4,54	2,65	1,98	58,4	41,6

Długość kroku płotkowego wg różnych autorów przedstawiana jest różnie; dla przykładu Miyoshita (1991) dla rytmu 13–16 kroków ustala wartości między 328 a 365 cm a Boyd (2001) odpowiednio 300–320 m.

Guzman i Colon (2013) ocenę częstotliwości kroków dokonywać na podstawie dystansu 315 m (od 1. do 10. płotka), wykorzystując uwagi Wincklera (2000, s.80-81) – 32 cm

Lindeman (1997) uzależnia wyraźnie „*stride pattern*” od liczby wykonywanych kroków między płotkami.

Oryginalną koncepcję oceny częstotliwości kroków przedstawiono w pracy Otsuki i Isaki (2019) Autorzy analizowali materiał z międzynarodowych i krajowych zawodów (igrzyska olimpijskie, mistrzostwa świata, mityngi GP a także lokalne zawody organizowane w Japonii) dzieląc dystans na dwie, nierówne części – „*first halve*” (185 m – do 5. płotka) oraz „*letter halve*” (215 m – od 5. płotka do mety). Na podstawie analizy filmów autorzy obliczyli długość kroków oraz ich częstotliwość. Praca ta może być pomocna w ocenie strategii biegu, jednakże można mieć kilka wątpliwości, co do koncepcji metodologicznej i ostatecznej przydatności praktycznej.

W pracy wykorzystano nowy sposób obliczania długości i częstotliwości kroków na dystansie 400 m przez płotki, umożliwiający:

- uwzględnienie także kroku płotkowego,
- wykorzystanie danych z innych źródeł,
- możliwość odtworzenia danych dla różnych, porównywalnych części biegu.

Przyjęto następujące wzory:

L = odcinek biegu – n x 3,50 m/liczba kroków;

Przykład (Kavin Young, 46,92 s):

$L(1-10 \text{ płotków}) = 315 - 9 \times 3,50 \text{ m} / 7 \times 13 + 2 \times 12 = 315 - 31,5 \text{ m} / 115 \text{ kroków} = 2,46 \text{ m}$

W tym wzorze wykorzystano pomiary JP.

F = liczba kroków + krok płotkowy x 1,4/czas przebiegnięcia danego docinka

Przykład (Kevin Young, 46,92 s):

$F(1-10 \text{ p\l otk\o w}) = 115 \text{ krok\o w} + 9 \times 1,4/35,66 \text{ s} = 115 + 12,6/35,66 = 127,6/35,66 = 3,58 \text{ krok\o w/s}$.

Wskaźnik 1,4 to średnia różnica długości kroku biegowego i kroku p\l otkowego (Stepanek i Moravec 1990).

Tabela 3.4.3.

Zmienne pośrednie – charakterystyka danych

Część dystansu*	Częstotliwość kroków	Długość kroku
1-10H	F ₁₋₁₀	L ₁₋₁₀
1-5H	F ₁₋₅	L ₁₋₅
6-10H	F ₆₋₁₀	L ₆₋₁₀

Długość kroków – 315/liczba kroków = długość kroku (-32 cm; wg Winckler 2000)

Częstotliwość kroków – liczba kroków/czas 315m – wg Letzelter i wsp. dla kobiet 45m + 1.30m = 46.30m, dla mężczyzn 45m + 1.45 m = 46,45 m).

*W pracy przyjęto jedynie podstawowe części biegu

Wyniki

Tabela 3.4.4.

Zmienne pośrednie – długość i częstotliwość kroków

Zmienna	n	x	SD	Med	Min-max	Sk	Ku
L1-10	296	2,35	0,08	2,37	2,09-2,56	-0,47	0,01
F1-10		3,60	0,12	3,58	3,34-3,97	0,56	0,17
L1-5	254	2,45	0,10	2,50	2,19-2,69	-1,24	1,42
L6-10		2,28	0,09	2,26	2,03-2,50	0,61	-0,20
F1-5	254	3,71	0,14	3,68	3,33-4,13	0,77	0,92
F6-10		3,68	0,16	3,70	3,33-4,63	0,57	4,11

Analiza długości kroku biegowego p\l otkarzy na dystansie 400 m wskazuje na stopniowe jego obniżanie – od 45 m w pierwszej połowie dystansu do 2,28 m w jego drugiej części (tabela 3.4.4.). Konsekwencją tego jest konieczność dodania kroku (lub dwóch) i zmiany “rytmu kroków” (patrz następne rozdziały). Wartości maksymalne (2,69/2,50 m) dotyczą p\l otkarzy wybierających “rytm” 13-krokowy, wartości minimalne (2,19/2,03 m) nawiązują do biegu 15. krokami.

Częstotliwość kroków jest stabilna i niezmienna – (różnica tylko 0,03 kr./s).

Na tym etapie analizy należy zadać pytanie – jaki parametr jest bardziej przydatny w analizie strategii biegu na 400 m przez p\l otki – liczba kroków czy pomiar ich długości?

Analiza korelacji (co jest w pełni zrozumiałe) wskazuje na wysokie związki między liczbą kroków a średnią ich długością ($r = 0,94$ dla całego dystansu i $0,96$ dla jego pierwszej części). Wobec tego liczba kroków może być wykorzystywana w opracowywaniu strategii kroków, a długość kroków może być pomocna w modelowaniu treningu rytmowego.

Kolejne pytania dotyczy wpływu wybranych parametrów na końcowy wynik (tabela 3.4.5.).

Tabela 3.4.5.

Współczynniki korelacji między wynikami w biegu na 400 m przez płotki a czterema grupami parametrów.

Zmienna	T1-10	T1-5	T6-10
T (czas)	0,30**	0,20**	0,24**
N (liczba kroków)	0,13*	0,10	0,13*
L długość kroku)	-0,13*	-0,10	-0,13*
F (częstotliwość kroków)	-0,01	-0,02	-0,38***

Wnioski:

1. Zmienne "liczba kroków" oraz "długość kroku" mają w analizie korelacji z końcowym wynikiem te same wartości bezwzględne – różnią się znakiem (+ lub -). Można więc traktować je wymiennie.
2. Utrzymanie długiego kroku na końcu dystansu nie jest receptą na znaczący wynik.
3. Lepsze wyniki gwarantuje wysoka częstotliwość kroków w drugiej części dystansu.

Wnioski aplikacyjne:

1. Długość kroku biegowego (w czasie biegu w kolejnych odległościach między płotkami) jest ważna w opracowaniu strategii przestrzennej biegu na 400 m przez płotki.
2. Liczbę kroków ("*stride pattern*") w czasie wysiłku startowego należy przekładać na długość kroku w czasie ćwiczeń specjalnych (w warunkach treningowych).
3. Jednostki treningowe o charakterze specjalnym („rytmowym”) obejmować również sytuacje wyjątkowe (skracanie i wydłużanie kroku) zdarzające się w czasie rywalizacji.

Piśmiennictwo*

Boczwarow 1985
Boyd 2001
Guzman Colon 2013
Joch 1992
Jonath i wsp. 2004
Letzelter (1973–1985)
Lindemann 1997
Mann 2003–2018
Miyoshita 1991
Otsuka i Isaka 2019
Stepanek i Morevec 1990
Strúdlér 2013
Winckler 2000

*pełna identyfikacja na końcu pracy

3.5. „Rytm kroków” czyli klasyczny „stride pattern”

Pytania:

1. Czy liczba kroków wpływa na poziom sportowy w biegu na 400 m przez płotki? (patrz rozdział wcześniejszy).
2. Czy kroki nieparzyste (= atakowanie płotka tą samą nogą atakującą)?
3. Czy liczba zmian rytmu jest odznaką słabości płotkarza?
4. Która część dystansu jest najbardziej odpowiednia do zmiany rytmu?
5. Który wariant liczby kroków (13–14 czy 15) jest właściwy dla płotkarzy zaawansowanych?

Wprowadzenie

* – w tekście wykorzystano sformułowania „model kroków”, „rytm kroków”, „schemat kroków” – synonimy używane w powszechnym użyciu, w pełni aprobowane przez trenerów, nie zawsze akceptowane przez naukowców.

Pierwszy finał olimpijski w biegu na 400 m przez płotki rozegrano 22 lipca 1908 r. na londyńskiej bieżni *White City Stadion*. Ze względu na nietypową długość okrążenia bieżni (536,45 m) w czasie rywalizacji następowały niestandardowe (wg dzisiejszej oceny) sytuacje. Zwycięzca biegu i późniejszy rekordzista świata Charles Bacon zбочzył z toru i przez część dystansu na bardziej zewnętrznym (niekorzystnym) torze. Ze względu na fakt, iż przebiegł dłuższy dystans – nie został zdyskwalifikowany (Lawson 1997).

Komentarze (jeszcze na poziomie dziennikarskim i trenerskim) dotyczące „strategii kroków” w czasie biegów na imprezach rangi mistrzowskiej rozpoczęły się na przełomie lat 20. i 30. XX wieku. Ich zasadność można obecnie potwierdzać śledząc w Internecie archiwalne filmy. W finałowym, zwycięskim biegu Lorda Burghley’a w 1928 r. (Amsterdam) zaobserwowano „model kroków” 6 x 15 + 3 x 17 (Quercetani 2009). Cztery lata później (1932 r., Los Angeles) nieoczekiwany zwycięzca, Irlandczyk Robert Tisdall, w czasie biegu półfinałowego, wszystkie odległości pokonał w „rytmie” 15-krokowym; w finale odległość przebiegł 17 krokami.

Dane te wskazują, że początkowy okres rozwoju biegu na 400 m przez płotki preferował płotkarzy „jednonożnych”, biegających w rytmie 15- oraz 17-krokowym. W komentarzu do biegu finałowego, znany amerykański trener Dink Templeton (*Stanford University*) akceptował różne możliwości – 17, 16 i 15 kroków (Cooper 1966).

Kategorycznie za rytmem 15 i 17 kroków, dla płotkarzy poziomu 54 s, w różnych konfiguracjach (najczęściej 6–7 x 15 + 2–3 x 17) opowiadał się w czasie II wojny światowej Hoke (1943). Dla słabszych zawodników przewidziano rytm 19-krokowy.

Analiza liczby kroków wykonywanych między kolejnymi płótkami nie dotyczyła okresu sprzed II wojny światowej. Wynikało to nie tylko z braku wiedzy dotyczącej specyfiki konkurencji ale, przede wszystkim, z braku formalizacji przepisów. Do 1945 r. w krajach anglosaskich (dominujących w tym czasie w tej konkurencji) optowano za odległościami 40 jardów (=36,57 m); w Europie kontynentalne odległości te przyjęto jako 35 m (Quercetani 2009, s. 31).

Pierwsze analizy dotyczące liczby kroków wykonywanych między płótkami dotyczą lat 50. XX wieku. W ocenie najlepszych zawodników świata wspomniany Roberto Luigi Quercetani analizuje „rytm” 17-krokowy Armando Filiputa, oceniając jego „*seventeens*” jako „*usually strode*” (Quercetani 2009, s. 32). Filiput w 1950 r. ustanowił rekord świata (51,9 s na 440 jardów) biegnąc cały dystans 17. krokami (9x17). Zważywszy, że Włoch był wysokim płótkarzem (186 cm/80 kg), jego styl biegu charakteryzował się pokonywaniem dystansu krótkimi krokami.

Początek lat 50. to moment przełomowy w analizie „*stride pattern*” w biegu na 400 m przez płótki. Problem stał się na tyle istotny dla trenerów, że, często sztucznie preferowany rytm 13-krokowy stał się niejednokrotnie celem szkolenia. Wg Butlera (2019) Rosjanie (Litujew i Julin) pierwsi zdecydowanie opowiedzieli się za rytmem 13-krokowym, a Moore konsekwentnie bronił biegu na 15 kroków między płótkami. W czasie Igrzysk Olimpijskich w Helsinkach w 1952 r. Amerykanin Charles Moore (183 cm) pierwszą część dystansu pokonał jednak w rytmie 13-krokowym, drugą na 15 kroków (4 x 13 + 5 x 15). Pierwszym, który poważnie myślał o rytmie 13-krokowym był Jurij Litujew, wszechstronny biegacz, wcześniej dziesięcioboista. Jego teoria kończyła się jednak na 7–8. płótku.

W 1953 r. Jurij Litujew ustanowił w Budapeszcie rekord świata, biegnąc w rytmie jednonożnym (7 x 13 + 2 x 15). Duża strata prędkości biegu w jego drugiej części (3,4 s różnicy) nie do końca potwierdziła skuteczność przyjętej strategii. W odpowiedzi na ta propozycję rozsądnie zareagował Anatoli Julin (172 cm) uzyskując w 1954 r. 50,5 s, biegnąc w (wg dzisiejszych standardów) kobiecym rytmie 7 x 15 + 2 x 17 (Quercetani 1990).

W 1956 r. w czasie Igrzysk w Melbourne złoty medal zdobył Gleen Davis. Jego próby rozwiązania liczby kroków uwzględniały wyłącznie jedna kończynę (dominującą). Jak pisze Quercetani (2009, s. 33) w czasie *Olympic Trials* w Los Angeles (29. czerwca 1956 r.) Davies po raz pierwszy uzyskał wynik poniżej 50 s, pokonując dystans w rytmie 6 x 13 + 3 x 17 kroków. W czasie biegu w Budapeszcie w 1958 r. (kolejny rekord świata – 49,2 s) Davis przebiegł cały dystans „*fifteens*” (15. krokami). Według Sadowskiego (1967) w okresie od 1956. do 1960. Gleen Davis, w zależności od rodzaju bieżni uwzględniał „rytm” 9 x 15 (na bieżni „miękkiej”) oraz 4 x 13 + 5 x 15 na bieżni utwardzonej. O ile dane Quercetaniego (przejście z 13. na 17 kroków) wydają się mało prawdopodobne, o tyle zmiany koncepcji biegu na

różnych bieżniach żuźlowych (pamiętajmy, że był to okres przed tartanem) jest zasadny. Na Igrzyskach w Rzymie w 1960 r. Davis według wielu znawców przedmiotu zdecydował się na „oszczędny” rytm 15-krokowy, dlatego też skrócił nadmiernie krok już przed drugim płotkiem i ostatecznie stracił szansę na pobicie rekordu świata (Butler 2019).

W półfinałowym biegu na 400 m ppł. w czasie Igrzysk w Melbourne Eddie Southern zrezygnował z najlepszego dla siebie wariantu (6 x 13 + 3 x 15), cały dystans przebiegając w rytmie 15-krokowym.

Klasyczny wówczas model biegu „jednonożnego” (13-15-17 kroków) podważył w 1958 i 1960 r. zawodnik Afryki Południowej Gert(hardus) Pottgieter. Bijąc dwukrotnie rekordy świata (na 440 jardów ppł.) Pottgieter (186 cm/80 kg) rozpoczynał bieg w rytmie 13-krokowym (2 x 13) a po trzecim płotku atakował następnie raz prawą, raz lewą nogą (Quercetani 2009, s. 34).

Próby 100% realizacji biegu w rytmie 13-krokowym podejmowali już w latach 50. płotkarze ZSSR. Na Mistrzostwach Europy w 1954 r. Jurij Litujew zastosował tę strategię biegnąc na 13 kroków do 7. płotka, jednakże potem stracił kontrolę nad biegiem i szansę zdobycia złotego medalu.

Przełom w analizie struktury biegu na 400 m przez płotki nastąpił w 1968 r., głównie w czasie Igrzysk w Meksyku. Wtedy to, m.in. Hemery

i Houston (1969) i Canova (1974), ocenili czasowe i przestrzenne elementy biegu. Większość uczestników meksykańskiego finału preferowało klasyczny wówczas model brytyjski – 13/15 kroków. Sposób pokonywania płotków wyłącznie jedną nogą ułatwił przekwalifikowanie płotkarzy na 110 m na dystans 400 m przez płotki David Hemery).

Niektórzy z płotkarzy preferowali bieg „na jedną nogę” ze stałą liczbą kroków – 15. Wśród nich byli zarówno płotkarze o znacznej wysokości ciała (Vanderstock -186 cm), jak i niskiego wzrostu – w późniejszym okresie mistrz świata Bershawn Jackson – 173 cm i 47,30 s.

Zmiany sposobu myślenia o „rytmie kroków” miały miejsce od początku lat 70 XX wieku. Zwycięzca Igrzysk w Monachium Ugandyjczyk John Akii-Bua, trenujący w Anglii przez Thomasa Arnolda, pokonał granicę 48 s (47,82 s) w rytmie 4 x 13 + 4 x 14 + 15. Tym samym Akii-Bua rozpoczynał i kończył dominującą nogą atakującą, a w środkowej części dystansu zastosował rytm przemienny – na 14 kroków. Ten wariant przez długi okres traktowany był jako przykład idealnej strategii biegu na 400 m przez płotki. Jej zwolennikiem był potem m.in. dwukrotny mistrz olimpijski Felix Sanchez (3 x 13 + 2 x 14 + 4 x 15).

Sytuacja zmieniła się z chwilą pojawienia się na bieżni płotkarza, który od 1976 r. przewartościował wyniki i trening w biegu na 400 m przez płotki. Edwin Moses w pełni realizował dotychczasowe marzenia płotkarzy o bieganiu całego dystansu w rytmie 13-krokowym. Płotkarz o średnich (jak na bieg na 400 m ppł.) warunkach fizycznych (186 cm), średnim po-

ziomie techniki (110 m ppł – 13,64 s) oraz wytrzymałości beztlenowej (400 m – 45,60 s), biegnąc wszystkie odległości między płótkami na 13 kroków zdobył trzy medale olimpijskie (pomimo absencji w 1980 r.) oraz dwa tytuły mistrza świata. Od Mosesa wielu biegaczy podążało tym tokiem myślenia „strategicznego”, możliwości techniczno-motorycznych oraz budowy ciała (zwykle powyżej 190 cm), biegnąc cały dystans długimi krokami (Phillips, Charłow i in.).

Nowa era w analizie strategii biegu na 400 m ppł. rozpoczęła się od Igrzysk Olimpijskich w Barcelonie, gdzie Kevin Young (193 cm) rozpoczął bieg w rytmie 13-krokovym, na prostej dwukrotnie pokonał odległości między płótkami 12-ma krokami, kończąc bieg w standardowym rytmie 13-krokovym (5x13). Na mecie Youngowi zmierzono czas 46,78 s – wynik nie pobity od 28 lat. Quercetani pisał: „Young zaczął eksperymentować ze swoimi krokami. Eksperymenty z różnymi „technikami kroków” („*stride techniques*”) uczyniły z niego mistrza” – (Quercetani 2009, s. 163).

Ostatni etap rozwoju biegu na 400 m przez płótki mężczyzn to gwałtowny wzrost wyników (w tym także rekordu świata) i zróżnicowanie w obszarze „strategii przestrzennej/kroków”. Nowy rekordzista (Norweg Karsten Warholm) w końcówce (9-10 płótek) decyduje się, w nawiązaniu do angielskich wzorców, na zmianę „rytmu jednokrokowego (13–15) a ostatni mistrz świata (Brazylijczyk Dos Santos) z powodzeniem próbuje wzorca Kevina Younga (13-12-13).

W tabeli 3.5.1. przedstawiono historyczne zmiany w strategii określanej jako „*stride pattern*”

Tabela 3.5.1.

Historyczne zmiany struktury przestrzennej (liczby kroków) w biegu na 400 m przez płótki mężczyzn

Rytm	Schemat	Okres/Charakterystyka	Przykłady
1. Ignorowanie rytmu kroków	15, 16, 17 i więcej	Lata przedwojenne	Pierwsi medaliści olimpijscy
2. Rytm jednożny/zmienney (1)	15/17	Lata 30–50. i często dalsze	Lord Burghley 1932
3. Rytm jednożny/stały (1)	15	Lata 50. i dalsze/ Bieg „na 15 kroków” to ideał płótkarzy lat 50. i 60. W dalszym rozwoju lekkoatletyki ten typ rytmu dotyczył zawodników niskiego wzrostu.	Davis G. 1960 Morale 1962 Cawley 1964 Shine 1976 Jackson C. 2005/8

4. Rytm jednożony/zmienny (2)	13/15	Rytm „jednożony” to klasyka biegu na 400 m ppł. Od rekordowego biegu Hemery’ego w 1968 r. poprzez medalowe biegi Matete, Clementa i Betta do rekordów Warholma zastosowanie wariantu 13/15 funkcjonuje w biegach przez płotki od blisko 50 lat.	Hemery 1968 Matete 1996 Clement 2008 Bett 2015 Warholm 2018/21
5. Rytm dwukrotnie zmienny	13-14-15	Rytm dwukrotnie zmienny wydaje się najbardziej naturalny z punktu widzenia stopniowego obniżania długości kroków. Od 50 lat popularny wśród zawodników wysokiego poziomu, najczęściej średniej budowy ciała. Trudności realizacji tego wariantu biegu jest konieczność skutecznego atakowania płotków na „słabszą” nogę. Dotyczy to głównie drugiej części biegu.	Aki-Bua 1972 Akabusi 1990 Sanchez 2002/12 Hussein 2014
6. Rytm jednokrotnie zmienny	13-14	Dążąc do minimalizacji liczby kroków najlepsi płotkarze rozpoczęli bieg w rytmie 13-krokowym, jednakże w drugiej części biegu zmuszeni są do naprzemiennego (14 kroków) pokonywania płotków. W tym wariacie ważna jest umiejętność pokonywania płotków na „drugą” nogę atakującą. Typ rytmu popularny do dnia dzisiejszego.	Schmid 1984 Dia Ba 1996 Adkins 1996 Taylor 2008 Culson 2009 Samba 2019/21 Copello 2017/21
7. Rytm jednożony/stały (2)	13	Od rekordów Mosesa ideał rytmu płotkarza ostatniej dekady XX wieku. Model kroków najlepszych płotkarzy, o doskonałych warunkach fizycznych.	Moses 1976/84 Phillips 1988 Benjamin 2019/21
8. Rytm zredukowany	13-12-13	W grupie wybitnych płotkarzy o znacznej wysokości ciała preferowany jest wariant 13-krokowy na początku biegu, ekstremalny bieg 12 krokami na najszybszej prostej i redukcja kroków w drugiej części dystansu.	Young 1992 Dos Santos 2017/21

W tabeli 3.5.2. przedstawiono wzorzec kroków rekordzistów świata z lat (1924–2021).

Tabela 3.5.2.

Rytm kroków rekordzistów świata

Płotkarz	Kraj	Rok	Wynik (s)	Rytm kroków
Morgan Taylor Frank	USA	1924	52,6	15 15 15 15 15/17 17 17 17
Hardin Gleen	USA	1930	51,9	15 15 15 15 15 15 15 15
Litujew Jurij	URS	1953	50,3	13 13 13 13 13 13/15 15 15
Davis Gleen	USA	1956	49,5	13 13 13 13 13 13/15 15/17
Davis		1958	49,2	15 15 15 15 15 15 15 15
Podgieter Gert	RSA	1960	49,0*	14 14 14 14/15 15 15 15 15
Morale Salvatore	ITA	1962	49,2	15 15 15 15 15 15 15 15
Cawley Warren	USA	1964	49,1	15 15 15 15 15 15 15 15
Vanderstock Geffray	USA	1968	48,94	15 15 15 15 15 15 15 15
Hemery David	GBR	1968	48,12	13 13 13 13/14 14 14 14/15
Akii-Bua John	UGA	1972	47,82	13 13 13 13 13/15 15 15 15
Moses Edwin	USA	1976	47,64	13 13 13 13 13 13 13 13
Moses		1977	47,45	Jw.
Moses		1980	47,13	Jw.
Moses		1981	47,02	Jw.
Young Kevin	USA	1992	46,78	13/12 12/13 13 13 13 13 13
Warholm Karsten	NOR	2021	46,70	13 13 13 13 13 13 13/15
Warholm		2021	45,94	Jw.

* – 440 jardów

Próby grupowania i systematyzowania wzorca (schematu) kroków (=„*stride pattern*”) dotyczyły wielu problemów, obejmujących parametry przestrzenne (liczbę kroków), lateralizację (stronność), i powiązanych z ruchem uwarunkowań czasowych.

Wszystkie elementy wpływające na „rytm kroków” zawarto w tabeli 3 (opisane szczegółowo w części wstępnej).

Tabela 3.5.3.

Zmienne decydujące o przestrzennej charakterystyce („szablon kroków”) biegu na 400 m przez płotki

Zmienna	Parametr	Wartości
1. Liczba kroków	1a. Liczby podstawowe (JP1-JP9) 1b. Liczby cząstkowe 1c. Liczba całościowa 1d. Liczba średnia	12–19
2. Kroki parzyste i nieparzyste	2a. Liczba kroków (bezwzględna) 2b. Proporcje procentowe	0–100
3. Liczba zmian rytmu		0–3 (4)

4. Miejsce zmian rytmu	4a. Pierwsza zmiana	2-9
	4b. Druga zmiana	2-9
	4c. Trzecia zmiana	2-9
	4d. Części dystansu	I-IV
5. Udział kończyny dominującej	5a. Pierwszy płotek (NA)	P/L
	5b. Liczba L oraz P	0-9
	5c. Proporcje L/P	0-100%
6. Wskaźniki lateralizacji	6a. Mekoty	
	6b. Norris-Williams	
7. Szablon kroków	Wybór - 1-15	

Dotychczas nie przeprowadzono szczegółowej, naukowej analizy podziału wariantów „**stride pattern**” (także: „**step pattern**” oraz „**stride rate**” w biegu na 400 m przez płotki.

W polskim nazewnictwie często słowo „pattern” tłumaczy się na wzór, model, próba, czyli „wzorzec kroków” czy, w nomenklaturze szkoleniowej „rytm kroków”. Jedną z nielicznych prób jest praca Ralpa Lindemana (1995). Autor wyróżnił w grupie mężczyzn:

- „**consistent pattern**” - 13 lub 15 kroków w kolejnych JP (rytm nieparzysty, jednonożny) lub parzysty/dwunożny (14-krokowy),
- „**single alternate**” - jednokrotna (pojedyncza) zmiana, z 13 na 14 kroków,
- „**dual alternate**” lub „**paired alternate**” - dwukrotna zmiana - 13-14-15 kroków,
- „**double cutdown**” lub „**double step down**” - podwójna zmiana (redukcja) - przejście z rytmu 13 na 15-krokowy.
- „**transition**” - zmiany rytmu kroków, uwzględniające do przyjętego wzorca (planowane lub sytuacyjne) dodanie kolejnych kroków.

Powyższy podział nie uwzględnia innych (powszechnie praktykowanych) modeli 14-15 jednokrotnie zmienny, parzysto-nieparzysty). Patrząc perspektywicznie możliwe są warianty 12-13, a analizując rzeczywiste pojedynki płotkarzy możliwe są nieprzewidywalne (z różnych względów) „strategii kroków” (np. 13-14-13).

Guex (2000) dzielił „rytm kroków” na kategorie: n (rytm stały), n + 1 (jednokrotna zmiana liczby kroków), n + 1 + 1 (dwukrotny wzrost liczby kroków), n + 1 + 1 + 1 (zmiany liczby kroków 3 razy), a także nieprzewidywalne i niepożądane zmiany (n-1 lub n + 2 + 2 + 2). W analizie nie uwzględniono podstawy - liczby kroków w pierwszej odległości między płotkami. W pracy wyodrębniono kilkanaście typów szablonu kroków (tabela 3.5.5.).

W zależności od celu analiz wykorzystano selekcyjnie wybrane typy.

Tabela 3.5.4.

Podstawowe warianty szablonu kroków (mężczyźni) („*stride pattern*”) – 7 wariantów

n	n+1	n+1+1	1+2
n13			
	n13-14		
n14		n13-14-15	
	n14-15		
n15			n13-15
Inne (wiele wariantów) – przeszłościowe (14-15-16) i przyszłościowe (13-12-13)			

Lawson (1997) w skrótovej analizie podaje 4 etapy ewolucji „rytmu kroków” w biegu na 400 m przez płotki. Najpierw w podręcznikach trener-skich sugerowano jednolity, 15-krokowy szablon kroków (1). W następnej fazie rozwoju konkurencji początek biegu dotyczył rytmu 13-krokowego, by w drugiej jego części pokonywać płotki na 15 kroków (2). Z chwilą nastania „ery Edwina Mosesa” docelowym „*stride pattern*” był bieg na 13 kroków we wszystkich jednostkach między płotkami (3). Rekordowe osiągnięcia Kevina Younga skłoniły trenerów do rozważenia możliwości częściowego wykorzystania biegu w rytmie 12-krokowym (4). Warto zauważyć, że Lawson nie uwzględniał możliwości biegu na 14 lub 16 kroków.

W polskiej literaturze uwzględniającej problematykę strategii biegu na 400 m ppł ważną pozycję zajmuje praca Starosty i Kędziory (1995). W analizie zmian nogi (kończyny) atakującej ocenianej na podstawie przebiegu rywalizacji w czasie Mistrzostw Świata w 1993 r., autorzy wyodrębnili 4 warianty „rytmu kroków”:

- brak zmiany nogi atakującej,
- jednokrotna zmiana,
- dwie i trzy zmiany kończyny atakującej,
- czterokrotna i wielokrotna zmiana nogi atakującej.

Autorzy analizowali również udział lewej i prawej nogi atakującej w czasie pokonywania płotków. W przypadku kobiet różnice były niewielkie (lewa – 51%, prawa – 49%), w grupie mężczyzn dominacja kończyny lewej była znaczna (80 v 20%). W kolejnych latach wprowadzano różne klasyfikacje i podziały, pozwalające na, z jednej strony grupowanie, z drugiej indywidualizowanie problemu.

Juszko (1975) wprowadził aż 9 różnych wariantów, dla zawodników różnego poziomu sportowego:

- $4 \times 15 + 3 \times 17 + 2 \times 19$,
- $7 \times 15 + 2 \times 17$,

- 4 x 15 + 4 x 16 + 1 x 17,
- 9 x 15,
- 4 x 14 + 5 x 15,
- 9 x 14,
- 4 x 13 + 2 x 14 + 3 x 15,
- 5 x 13 + 2 x 14 + 2 x 15,
- 5 x 13 + 4 x 15.

Novak (1982) nieco uprościł zestawienia „rytmu” kroków w biegu na 400 m przez płotki mężczyzn:

- 7 x 13 + 2 x 15,
- 4 x 13 + 5 x 15,
- 4 x 13 + 2 x 14 + 2 x 15,
- 7 x 15 + 2 x 16.

Klasyczny obecnie podział potwierdził w pracy Guex (2012); jego podział był następujący:

- n – niezmienna liczba kroków (np. 9 x 13 lub 9 x 15),
- n + 1 – liczba kroków zwiększona o 1 (np. 13-14 lub 14-15),
- n + 2 – liczba kroków zwiększona o 2 (np. 13-15, 15-17),
- n + 1 + 1 – liczba kroków zwiększana dwukrotnie (np. 13-14-15).

Sanchez (2018) w swojej analizie nie uwzględnił stałego „rytmu” kroków, przedstawiając trzy warianty:

- pokonywanie płotka tą samą nogą, przy wzroście liczby kroków o 2 (13-15),
- atak płotka na najpierw „lepszą” kończyną (13 lub 15) następnie kontynuacja w „rytmie” naprzemiennym (14 lub 16),
- pokonywanie płotka na początku i końcu dystansu „lepszą” nogą atakującą (13-14-15).

W pracy Casala i wsp. (2020) w niezwykle „detałiczny” sposób przedstawiono podział „struktury rytmicznej” (= *rhythmic structure*) analizując aż 28 typów rytmu kroków. Autorów nie tylko interesowały zmiany rytmu (13-14) ale także miejsca ich zmian (13/5-14, 13/8-14, 13/9-14)

Tabela 3.5.5.

Typologia rytmu kroków – charakterystyka

Nr	„Rytm”	Charakterystyka
1.	13	Pokonanie dystansu we wszystkich odległościach między płotkami w rytmie 13-krokowym to przywilej tylko najlepszych zawodników. Zaletą tego rozwiązania jest wykorzystanie tylko jednej (lepiej) kończyny atakującej. Wadą wyboru rytmu 13-krokowego jest konieczność skracania kroków w pierwszej części dystansu i ich wydłużania na odcinku finiszowym. Bieg w rytmie 13 kroków na całym dystansie stosują tylko płotkarze wysocy. Ten wybór rytmu traktowany jest przez wielu jako wizytówka mistrzostwa sportowego.
2.	15	Podobnie jak wariant 13-krokowy rytm 15-krokowy, dotyczy zawodników „jednonożnych”, często rozpoczynający karierę sportową w biegu sprinterskim przez płotki. Wariant, wśród płotkarzy wysokiego poziomu, nieco archaiczny, charakterystyczny dla biegu przez płotki z lat 50 XX wieku. Wybór tego wariantu uwarunkowany jest skromnymi warunkami fizycznymi. Model popularny także na początkowym etapie kariery sportowej
3.	14	Rzadki sposób pokonywania płotków na dystansie 400 m. Płotkarz w tej wersji rytmu musi dysponować dobrą techniką pokonywania płotków na obydwie kończyny atakujące. Dobry wariant przejściowy na początkowym etapie kariery sportowej; szczególnie w aspekcie kształtowania techniki pokonywania płotków lewą i prawą nogą.
4.	13-14	Z punktu widzenia zmian prędkości biegu i zmniejszania się długości kroku biegowego ten wariant wydaje się najbardziej sensowny w grupie zawodników wysokiego poziomu. W przypadku zawodników „jednonożnych” problemem wydaje się pokonanie płotków „słabszą” kończyną atakującą, co zwykle następuje w drugiej części biegu. Zmiana nogi atakującej, z praktycznego punktu widzenia, <u>nie</u> powinna następować w newralgicznych punktach dystansu – na początku 2. wirażu i na ostatnim płotku. Ten wariant jest najbardziej popularny wśród najlepszych płotkarzy świata.
5.	14-15	Wariant rzadko stosowany, głównie w grupach zawodników początkujących i średniego poziomu sportowego. Zaletą tego wyboru jest możliwość pokonywania płotków drugiej części biegu wyłącznie „lepszą” nogą atakującą.
6ab	a. 13-14-15 b. 13-14-15	Klasyczny typ płotkarskiego „rytmu” kroków, w pełni uwzględniający zmiany długości kroku biegowego na dystansie. Obecnie najbardziej popularny wariant strategii przestrzennej biegu na 400 m przez płotki. W tej grupie można wyróżnić wariant „a” (przeważająca część biegu w rytmie 13-krokowym) i „b” (najbardziej eksponowany rytm 15-krokowy).
7	14+15+16	Wariant „rytmu” głównie dla początkujących, młodych zawodników. Na poziomie mistrzowskim rozwiązanie unikatowe.

8	13/15	Standardowy, często wykorzystywany wariant biegu, uwzględniający: (1) dominację jednej kończyny atakującej oraz (2) redukcję długości kroków wraz ze wzrastającym zmęczeniem. Problemem może być konieczność znacznego skrócenia kroku w czasie zmiany 13 na 15. Popularny w „angielskiej szkole” biegu na 400 m przez płotki, uwzględniającej przejście z dystansu 110 m na 400 m.
9	14/16	Wariant często stosowany wśród zawodników różnych poziomów sportowych. Warunkiem jest umiejętność pokonywania płotków lewą i prawą nogą atakującą. „Rytm” podwójnie parzysty jest charakterystyczny także dla najlepszych płotkarzy świata.
10	12-13/14	Wariant możliwy do zastosowania tylko przez zawodników wysokich, typu szybkościowego. Wadą tego wariantu jest znaczne wydłużanie kroków na trudnym do pokonania pierwszym wirażu.
11.	(15-13-16)	Wybór liczby kroków wynikający z nieprzewidzianych okoliczności (pokonywanie płotka „złą” nogą, silny wiatr, błąd techniczny itp.
12	13-14-15-16	Wariant biegu, w którym płotkarz niewłaściwie ocenił swoje możliwości i, na skutek drastycznego spadku prędkości biegu, liczba kroków została drastycznie zmieniona.
13	13-12-13	Model dwukrotnej zmiany rytmu kroków, z początkowym obniżeniem liczby kroków (w fazie najwyższej prędkości biegu) na pierwszej prostej. Ten wariant biegu może być przyszłością tej konkurencji.

Przykłady zastosowania różnych rodzajów „rytmu kroków” przedstawiono w tabeli 3.5.6.A-N.

Tabela 3.5.6.A-N

Przykładowe „rytmy kroków” najlepszych płotkarzy świata

A. Rytm stały 1 (nieparzysty) - 9x13

Impreza/rok	Płotkarz/Wynik (s)	Rytm kroków
OG 2021/2	Benjamin/	13-13-13-13-13-13-13-13
WC 2019/2	Benjamin/	13-13-13-13-13-13-13-13
Historia		
OG 1976/1	Moses/47,64	13-13-13-13-13-13-13-13
WC 1983/1	Moses/47,50	13-13-13-13-13-13-13-13
OG 1984/1	Moses/47,75	13-13-13-13-13-13-13-13
OG 1984/6	Hawkins/49,42	13-13-13-13-13-13-13-13
OG1988/1	Phillips/47,19	13-13-13-13-13-13-13-13
OG 1996/7	Teixeira/48,57	13-13-13-13-13-13-13-13
WC 2009/1	Clement/47,91	13-13-13-13-13-13-13-13

B. Rytm stały 2 (nieparzysty) – 9 x 15

Impreza/rok	Plotkarz/Wynik	Rytm kroków
Brak		
Historia		
OG 1960/1	Davis G./49,3	15-15-15-15-15-15-15-15-15
EC 1962/1	Morale/49,2	15-15-15-15-15-15-15-15-15
OG 1968/4	Vanderstock/49,07	15-15-15-15-15-15-15-15-15
OG 1976/2	Shine/48,69	15-15-15-15-15-15-15-15-15
OG 1996/3	Davis/47,96	15-15-15-15-15-15-15-15-15
WC 2005/1	Jackson C./47,30	15-15-15-15-15-15-15-15-15
OG 2008/3	Jackson C./48,06	15-15-15-15-15-15-15-15-15

C. Rytm stały (parzysty) – 9 x 14

Impreza/rok	Plotkarz	Rytm kroków
Brak		
Historia		
WR 1958/1	Potgieter/49,7y	14-14-14-14-14-14-14-14-14

D. Rytm jednokrotnie zmienny (nieparzysto-parzysty)**1 – X13+y14**

Impreza/rok	Plotkarz	Rytm kroków
OG 2021/4	McMaster	13-13-13-13-13-14-14-14-14
OG 2021/5	Samba	13-13-13-13-13-13-13-14-14
OG 2021/6	Copello	13-13-13-13-13-14-14-14-14
OG 2021/7	Magi	13-13-13-13-13-13-14-14-14
WC 2019/3	Samba	13-13-13-13-13-13-13-14-14
WC 2019/4	McMaster	13-13-13-13-13-14-14-14-14
WC 2019/5	Holmes	13-13-13-13-13-13-14-14-14
WC 2017/2	Copello	13-13-13-13-13-14-14-14-14
WC 2017/3	Clement	13-13-13-13-13-13-13-14-14
EC 2018/2	Copello	13-13-13-13-13-13-14-14-14
EC 2018/5	Dobek	13-13-13-13-13-13-14-14-14
Historia		
OG 1984/2	Schmid/48,19	13-13-13-13-13-13-13-14-14
OG 1988/2	Dia Ba/47,23	13-13-13-13-13-13-14-14-14
OG 1996/1	Adkins/47,54	13-13-13-13-13-14-14-14-14
OG 1996/4	Nylander/47,96	13-13-13-13-13-13-13-14-14
OG 2000/2	Al-Somayli/47,53	13-13-13-13-13-13-13-13-14
OG 2004/6	Plawgo/49,00	13-13-13-13-13-14-14-14-14
OG 2008/1	Taylor A./47,25	13-13-13-13-13-13-14-14-14
WC 2009/2	Culson/48,09	13-13-13-13-13-13-13-14-14
WC 2013/1	Gordon/47,69	13-13-13-13-13-13-13-14-14
WC 2013/3	Bekric/48,05	13-13-13-13-13-14-14-14-14
OG 2016/1	Clement/47,73	13-13-13-13-13-14-14-14-14

**E. Rytm jednokrotnie zmienny (nieparzysto-parzysty)
2 - x13+Y14**

Impreza/rok	Płotkarz	Rytm kroków
Brak		
OG 1988/6	Akabusi/48,69	13-13-13-13- 14 -14-14-14-14
OG 2000/4	Carter/48,04	13-13-13-13- 14 -14-14-14-14
OG 2000/5	De Araujo/48,34	13-13-13-13- 14 -14-14-14-14
OG 2008/3	Taylor A./48,42	13-13-13- 14 -14-14-14-14-14

Ryzykowna zmiana po wejściu w wiraż

F. Rytm jednokrotnie zmienny (parzysto-nieparzysty) - X14+y15

Impreza/rok	Płotkarz	Rytm kroków
Brak		
OG 1972/	Seymour/48,64	14-14-14-14- 15 -15-15-15-15
EC 1998/1	Januszewski/48,17	14-14-14-14-14- 15 -15-15-15
WC 2001/1	Mori/47,54	14-14-14-14-14- 15 -15-15-15
OG 2008/5	Van Zyl/48,42	14-14-14-14-14- 15 -15-15-15
WC 2011/1	Greene/48,26	14-14-14-14-14- 15 -15-15-15

G. Rytm dwukrotnie zmienny (N-P-N) 1 - X13+Y14+z15

Impreza/rok	Płotkarz	Rytm kroków
WC 2019/6	Capello	13-13-13-13-13-13- 14 -14- 15
WC 2017/4	Mowatt	13-13-13-13- 14 -14- 15 -15-15
EC 2018/3	Barr	13-13-13-13-13-13- 14 -14- 15
Grupa badawcza		
OG 1968/3	Sherwood/49,12	13-13-13-13-13-13- 14 -14- 15 -15
OG 1972/1	Aki-Bua/47,82	13-13-13-13- 14 -14-14-14- 15
OG 1984/2	Harris/48,13	13-13-13-13-13-13-13-13- 14 - 15
EC 1990/1	Akabusi/47,92	13-13-13-13-13-13-13- 14 -14- 15
WC 1997/1	Diagana/47,70	13-13-13-13-13-13- 14 -14- 15 -15
WC 2001/3	Temesue/47,89	13-13-13-13- 14 -14- 15 -15-15
WC 2003/1	Sanchez/47,25	13-13-13-13-13-13- 14 -14- 15 -15
WC 2003/2	Woody/48,18	13-13-13-13-13-13- 14 -14- 15 -15
OG 2012/	Sanchez/47,63	13-13-13-13- 14 -14-14-14- 15
OG 2012/	Tnnsley/47,91	13-13-13- 14 -14-14-14- 15 -15

H. Rytm dwukrotnie zmienny (N-P-N) 2 - x13+Y14+Z15

Impreza/rok	Płotkarz	Rytm kroków
WC 1999/3	Schelbert/48,13	13-13-13- 14 -14-14- 15 -15-15
EC 2006/1	Iakovakis/48,46	13-13-13-13- 14 -14-14-14- 15
OG 2012/1	Sanchez/47,63	13-13-13-13- 14 -14- 15 -15-15
OG 2012/2	Tinsley/47,91	13-13-13- 14 -14-14-14- 15 -15
OG 2012/5	Taylor A./48,25	13-13-13-13- 14 -14-14- 15 -15
EC 2014/1	Hussein/48,96	13-13-13-13- 14 -14-14-14- 15

I. Rytm dwukrotnie zmienny (P-N-P) - X14+Y15+z16

Impreza/rok	Płotkarz	Rytm kroków
WC 2011/3	Van Zyl/48,80	14-14-14-14-14- 15-15-16
WC 2011/5	Fredericks/49,12	14-14-14-14-14- 15-15-16-16

J. Rytm podwójnie zmienny (nieparzysty) - 13/15

Impreza/rok	Płotkarz	Rytm kroków
OG 2021/1	Warholm	13-13-13-13-13-13-13-13- 15
WC 2019/1	Warholm	13-13-13-13-13-13-13-13- 15
WC 2017/1	Warholm	13-13-13-13-13-13-13- 15-15
EC 2018/1	Warholm	13-13-13-13-13-13-13-13- 15
Grupa badawcza		
OG 1968/1	Hemery/48,12	13-13-13-13-13- 15-15-15-15
OG 1968/2	Hennige/49,02	13-13-13-13-13- 15-15-15-15
OG 1980/1	Beck/48,70	13-13-13-13-13-13- 15-15-15
EC 1994/1	Twardochleb/48,02	13-13-13-13-13- 15-15-15-15
OG 1996/2	Matete/47,78	13-13-13-13-13-13-13- 15-15
OG 2008/2	Clement/47,98	13-13-13-13-13-13-13- 15-15
WC 2015/1	Bett/47,79	13-13-13-13-13-13-13-13- 15

K. Rytm podwójnie zmienny (parzysty) - 14/16

Impreza/rok	Płotkarz	Rytm kroków
Brak		

L. Rytm progresywny - 12-13-(14-15)

Impreza/rok	Płotkarz	Rytm kroków
WC 2019/7	Dos Santos	13-13- 12-12 -13-13-13- 14-14
OG 2021/3	Dos Santos	13-13- 12-12 -13-13-13-13-13
WC 2022/1	Dos Santos	13- 12-12-12-12 -13-13-13-13
Badana grupa		
OG 1988/4	Young/47,94	12-12-12-12-13 -13-13-13- 14
OG 1992/1	Young/46,78	13-13- 12-12-13 -13-13-13-13
OG 2004/3	Keita/48,26	12-12-12-12-13 -13-13-13-13
WC 2005/5	Keita/48,28	13-12-12-12-13 -13-13-13-13
WC 2015/3	Gibson/48,17	13-13- 12-13 -13-13-13- 14-14-14

M. Rytm nieprzewidywalny (13-16)

Impreza/rok	Płotkarz	Rytm kroków
OG 1988/5	Graham/48,04	14-13-14-13-14-14-14-14-15
WC 1991/7	Keter/49,99	13-15-15-13-15-15-15-15-15
WC 1997/2	Herbert/47,86	14-15-15-15-15-15-16-15-15
OG 2004/8	Brazell/49,51	13-13-13-14-14-15-15-15-16
WC 2011/4	Sanchez/48,87	13-13-13-13-14-14-15-15-16
WC 2011/7	Taylor A./49,31	13-13-13-13-14-14-15-15-16

Najczęściej błędy, które kończą się ostatnimi miejscami ale nie zawsze (Graham, Herbert). Przeliczenie się z siłami

N. Rytm „historyczny”

Impreza/rok	Płotkarz	Rytm kroków
OG 1972/7	Tzortzis/49,66	15-15-15-15- 16 -16-16-16-17
WC 2011/6	Jackson B./49,24	15-15-15-15-15-15-15-15-17

Podstawowa statystyka

Tabela 3.5.7.

Strategia przestrzenna w biegu na 400 m przez płotki mężczyzn – statystyki podstawowe

Kroki	n	x	SD	Med	Min	Max	Sk	Ku	r
12	8	3,13	1,25	4	1	4	-0,90	-1,13	
13	229	5,26	1,51	5	1	9	0,33	0,40	
14	232	3,36	1,49	3	1	7	0,46	-0,75	
15	190	3,31	2,17	3	1	9	1,55	1,84	
16	13	1,38	0,87	1	1	4	2,66	7,47	
17	1	1,00		1	1	1			

Najlepsi płotkarze świata pokonują kolejne odległości między płotkami w rytmie 13, 14 i 15. kroków. Powyższe wybory (w różnorodnych wariantach) „stride pattern” to 99,7% wszystkich możliwości.

Tabela 3.5.8.

Liczby kroków parzystych i nieparzystych

Parametr	x	SD	Min-max	Med	Sk	Ku
1. Kroki parzyste i nieparzyste						
Liczba JP parzystych (12-14-16) %	2,64 29,35	1,98 22,00	0-9 0-89	2 22,22	0,24 0,23	- 0,81 - 0,81
Liczba (JP nieparzystych 13-15-17) %	6,36 70,65	1,98 22,00	0-9 11-100	7 77,78	0,24 -0,23	- 0,81 - 0,81
2. Proporcje (nieparzyste/parzyste)						
Nieparzyste/parzyste	2,20	1,56	0,13-8-00	1,63	1,46	3,29
3. Liczba zmian rytmu						
Liczba zmian	1,33	0,73	0-5	1	0,75	2,18

Najczęściej wykorzystywana jest nieparzysta (13, 15) liczba kroków (70,65%), pozwalająca pokonywać kolejne płotki jedną, „lepszą” nogą atakującą.

Tabela 3.5.9.

Zmiany liczby kroków na poszczególnych etapach biegu na 400 m przez płotki

Odcinek biegu	Liczba przypadków	Kolejne zmiany				
		1.	2.	3.	4.	5.
2-3H	6	6				
3-4H	7	5	2			
4-5H	18	13	3	2		
5-6H	57	52	2	1	1	
6-7H	117	112	5			
7-8H	60	37	20	2	1	
8-9H	87	41	46	2		
9-10H	41	7	27	6		1
Razem	393	273	105	13	2	1
%	100	69,5	10,5	3,3	0,5	0,3

Zawodnicy rzadko nie zmieniają kroków w momencie wzrastającego zmęczenia i stopniowego zmniejszania długości kroku biegowego. Analizy dowiodły, że tylko (a może aż) 15,9% płotkarzy pokonuje każdą odległość (od pierwszego do ostatniego płotka) tą samą liczbą kroków. Płotkarze (w 84,1%) zmieniają liczbę kroków – najczęściej jednokrotnie (blisko 70%), rzadziej dwukrotnie (10,5% – co dziesiąty zawodnik), a marginalnie 3-5-krotnie (w sumie ok. 4%). – tabela 3.5.10.

Tabela 3.5.10.

Zmiany rytmu kroków i ich wpływ na parametry czasowe

Zmienna	n	x	SD	Med	Min-max	Sk	Ku	R400r/r1-10
tpre1	255	4,10	0,19	4,10	3,66-4,64	0,20	-0,10	0,10/0,21***
tpost1		4,26	0,20	4,28	3,70-4,92	0,12	0,59	0,08/0,17**
tpre-post1		0,16	0,12	0,16	(-0,20)-0,56	0,03	0,31	-0,01/-0,02
%tpre-post1		3,98	3,06	3,88	(-4,54)-13,51	0,11	0,28	-0,04/-0,05
tpre2	100	4,32	0,18	4,32	3,70-4,72	-0,64	1,26	0,26**/0,31**
tpost2		4,50	0,22	4,50	3,78-5,10	-0,15	1,34	0,22**/0,21*
tpre-post2		0,18	0,18	0,16	0,00-0,60	1,00	1,55	0,05/-0,05
%tpre-post2		4,15	4,15	3,88	0,00-13,64	0,94	1,30	0,01/-0,08
tpre3	11	4,42	0,25	4,50	3,90-4,70	-1,04	-1,04	0,04/0,04
tpost3		4,68	0,29	4,68	4,20-5,00	-0,45	-0,45	0,25/0,16

Zmiany rytmu kroków powodują konieczność skracania kroków bezpośrednio przed pokonaniem kolejnego płotka. Jeżeli ta umiejętność nie jest do końca opanowana, następuje wyraźne obniżenie prędkości biegu (McFarlane 2004, Lindemann 2005, Iskra 2012). W grupie najlepszych płotkarzy świata nie zaobserwowano istotnych statystycznie różnic w czasie pokonywania płotków przed i po zmianie rytmu. Dotyczy to zarówno pierwszej, jak i drugiej zmiany liczby kroków – tabela 3.5.11.

W tabeli 3.5.5. przedstawiono wszystkie warianty wzorca kroków wykonywanych w biegu na 400 m przez płotki mężczyzn na różnych poziomach zaawansowania.

Tabela 3.5.11.

Typy rytmu w grupie najlepszych płotkarzy świata (n = 295)

Lp.	Model kroków	n	%
1	13	9	3,0
2	15	18	6,1
3	14	0	0
4	13-14=	76	25,8
	13-14	33	11,2
	13-14	43	14,6
5	14-15	42	14,2
6	13/15	42	14,2
7	13-14-15=	80	27,1
	13-14-15	45	15,3
	13-14-15	35	11,8
8	14-15-16	4	1,4
9	(12)-13-14	8	2,7
10	(13-17)	16	5,5

Analiza grupy płotkarzy uwzględnionych w pracy pozwoliła na identyfikację 10. koncepcji rytmu kroków. Dla celów analizy empirycznej dwie najbardziej popularne wersje „*stride pattern*” podzielono na dwa warianty – tabela 3.5.11.

Ponad połowa przypadków płotkarzy preferuje rytm 13–14 (25,8%) oraz 13-14-15 (27,1%). Te dwa typy „*stride pattern*” mają swoje warianty, uzależnione od możliwości utrzymania rytmu 13-krokowego w pierwszej części biegu.

Poza ww. wariantami ważne miejsce w wyborze strategii biegu zajmują typy 14–15 oraz 13/15 (po 14,2%). Pozostałe typy rytmu płotkarskiego obejmują wartości poniżej 7%.

Szczegółową analizę wyodrębnionych (a także dodatkowych) typów płotkarskiego rytmu przedstawiono w tabelach 11–13.

Analiza sposobu pokonywania płotków w aspekcie liczby kroków wykonywanych w kolejnych odległościach między płotkami pozwala na wyodrębnienie wielu typów „*stride pattern*”.

W tej klasyfikacji uwzględniono:

1. Liczbę wykonywanych kroków (12–17)
2. Liczbę zmian rytmu (0–2, (3–4)
3. Pokonywanie płotków jedną (rytm nieparzysty) lub obydwiema (rytm parzysty) nogami atakującymi

Tabela 3.5.12.
Podział struktury przestrzennej („model kroków/”*stride pattern*”) w biegu na 400 m przez płotki

Liczba kroków	„Rytm” stały		„Rytm” jednokrotnie zmienny		„Rytm” dwukrotnie zmienny		„Rytm” podwójnie zmienny	
	„Rytm” nieparzysty	„Rytm” parzysty	„Rytm” N-P	„Rytm” P-N	„Rytm” nieparzysty	„Rytm” parzysty	„Rytm” N-P-N	„Rytm” P-N-P
(12)		(12)						
13	13			12-13				12-13-14
14		14	13-14					
15	15			14-15	13/15		(13-14)-15	(14-15)-16
[16]		[16]		15-16	[15/17]		(15-16)-17	14-(15-16)
				[16-17]			[15-(16-17)]	

(12) – rytm przyszłościowy

[16] – rytm przeszły, także dla początkujących płotkarzy

Modelowe rozwiązania z uwzględnieniem powyższych czynników przedstawiono w tabeli 3.5.13. Analiza liczbowa (empiryczna) została przeprowadzona wcześniej (patrz tabelach 3.5.6-8). Z punktu widzenia szkoleniowego na szczególną uwagę zasługują proporcje udziału „rytmu” nieparzystego (bardziej pożądanego) i nieparzystego.

Tabela 3.5.13.
Podział rytmu kroków („stride pattern”) w biegu na 400 m przez płotki mężczyzn (poziom światowy)

Lp.	Rodzaj rytmu	Wariant	Symbol	Model „stride pattern”	Proporcje kroków (%)		Udział nogi dominującej		
					Parzyste	Nieparzyste	Bez zmiany rytmu	1 zmiana rytmu	2 zmiany rytmu
1	Rytm stały	Nieparzysty	13	9x13	0	100	X		
2			15	9x15	0	100	X		
3		Parzysty	14	9x14	100	0		XX	
4	Rytm jednokrotnie zmienny	Nieparzysto-parzysty	13-14	X13+y14 x13+Y14	70*	30*		Xx	
					30*	70*		xX	
5		Parzysto-nieparzysty	14-15 (12-13)	x14+y15	50*	50*		XX	
6	Rytm dwukrotnie zmienny	N-P-N	13-14-15	X13+Y14+z15x13+Y14+Z15	70*	30*			XXx
					50*	50*			xXX
7		P-N-P	14-15-16	X14+Y15+z16	50*	50*			Xxx
8	Rytm podwójnie zmienny	Nieparzysty	13/15	X13+Y15	50*	50*		X	
9		Parzysty	14/16	X14+y16	80*	20*		X	
10	Rytm progresywny		12-13-(14) 13-12	x12+Y13+(z14)	20*	80*		Xx	
11	Rytm nieprzewidywalny	Różne	13-15-16	?	?	?		?	
12	Rytm przystosowy		12	9x12	100	0	X		

N – kroki nieparzyste (13, 15), kroki parzyste (14); X – duża litera sugeruje większość liczby kroków wykonywanych w danym „rytmie”, x – mała litera – mniejsza liczba kroków w danym „stride pattern”.

Konieczna dominująca (D) = „lepsza”, konieczna „słabsza” (S)

* – wartości szacowane

Gruba czcionka – najbardziej popularne warianty

Analiza „rytmu” kroków pozwala na właściwą organizację procesu szkolenia w aspekcie tzw. „treningu rytmowego” (szczegółowo problem szkolenia płotkarzy został przedstawiony w pracy Iskry (2012).

Wnioski aplikacyjne

Tabela 13.5.14.
Uwagi szkoleniowe i przykładowe jednostki treningu „rytmowego” dla płotkarzy o różnym wyborze „*stride pattern*” (poziom światowy)

Lp.	Rodzaj rytmu	Symbol	Uwagi szkoleniowe
1	Rytm stały (<i>Constant</i>)	13	Srednia długość kroków to 2,45 m – problemem wydaje się początkowa konieczność skracania kroków i trudne utrzymanie tej długości na ostatniej prostej.
2		15	Srednia długość kroku – 2,13 m, wariant przeznaczony dla zawodników niższego wzrostu potrafiącym pokonać płotek tylko jedną nogą atakującą.
3		14	Długość kroku (2,27 m) standardowa dla biegaczy specjalizujących się na 400 m/400 m przez płotki.
4	Rytm zmienny – jednokrotnie (<i>Single alternate</i>)	13-14	Trudność to konieczność pokonywania płotków na przemian lewą i prawą nogą atakującą. W tym najbardziej popularnym wariancie zawodników zaawansowanych należy zwrócić uwagę na ten fragment biegu, w którym następuje zmiana rytmu kroków. Im później to nastąpi, tym udział nogi „słabszej” będzie mniejszy.
5		14-15 (12-13)	W wariancie dla początkujących płotkarzy akcentujemy wykorzystanie obydwu nóg atakujących z możliwością finiszowania atakującą kończyną wiodącą. To trudny, ale w pełni uzasadniony wybór dla młodych płotkarzy.
6	Rytm dwukrotnie zmienny (<i>Paired alternate</i>)	13-14-15	Klasyeczny wariant uwzględniający stopniową redukcję długości kroku biegowego. W treningu „rytmowym” należy uwzględnić schemat – wydłużony krok w początkowej fazie (1), trudny moment zmian nogi atakującej na wirażu (2), naturalne skrócenie kroków i atakowanie płotka „lepszą” nogą na trudnym odcinku finiszowym (3).
7		14-15-16	Model możliwy (i często konieczny) do zastosowania na początkowym etapie kariery sportowej przyszłych płotkarzy wysokiego poziomu. Wariant edukacyjny właściwy, jednakże dość trudny do finalnej realizacji – początkowy/wiraż i końcowy/ostatnia prosta fragment wykonywany w „rytmie” dwunożnym.
8	Rytm podwójnie zmienny (<i>Double step down</i>)	13/15	Popularny i praktyczny w organizacji treningu wariant dostosowany do tych płotkarzy, którzy wcześniej specjalizowali się na dystansie 110 m przez płotki. W pełnej akceptacji tego modelu kroków przeskadzają dwa elementy – (1) przejście z 13. na 15. kroków to konieczność gwałtownego skrócenia kroków, a (2) ewentualne niekorzystne warunki atmosferyczne czy nieoczekiwane błędy mogą zmusić płotkarza do atakowania płotków nogą słabszą.
9		14/16	Wariant dydaktyczny – młodsi płotkarze uczą się biegać w różnych wariantach rytmu dwunożnego (parzystego).
10	Rytm progresywny (<i>Future</i>)	12-13-(14) 13-12	Typ rytmu tylko dla wybitnych płotkarzy o znacznej budowie ciała. Dotychczasowe próby nie sprzyjały szablону kroków.
11	Rytm nieprzewidywalny (<i>Non expectation</i>)	13-15-16	W czasie rywalizacji na bieżni takie postępowanie to całkowita porażka. W warunkach treningu – wartościowy, aczkolwiek rzadki wariant biegu, przygotowujący zawodników do różnych sytuacji na bieżni.

Wnioski

1. Najczęściej wykonywana liczba kroków to rytmy 13, 14 i 15-krokowe.
2. Płotkarze wysokiego poziomu w 70% wykorzystują jedną (=lepszą) nogę atakującą.
3. W grupie najlepszych płotkarzy świata brak istotnych różnic w czasie pokonywania odcinków biegowych przed i po zmianie rytmu. Brak podstaw do wykorzystanie zmian prędkości biegu w czasie zmiany rytmu.
2. Najbardziej eksponowane typy „*stride pattern*” to 13-14 oraz 13-14-15.

Piśmiennictwo

Butler 2019
Canova 1974
Casal i wsp. 2020
Cooper 1966
Davis i Darlington 1975
Guex 2000
Hemery i Houdson 1969
Hoke 1943
Iskra 2012
Juszko 1975
Lawson 1997
Lawson G. 1997
Lindemann 1995
Litujew J. 1975
McFarlane 2004
Novak 1982
Quercetani 1990, 2009
Sadowski 1967
Sanchez 2018
Starosta i Kędziora 1995
Steinmann 1991

Piśmiennictwo uzupełniające

Lopez del Amo 2012

3.6. Asymetria funkcjonalna w biegu na 400 m przez płotki – wybór między dominacją nogi atakującej a specyfiką dystansu

Pytania:

1. Czy lewa noga atakująca jest dominująca w biegu na 400 m przez płotki?
2. Czy płotkarz na 400 m przez płotki musi być „obunożny”?
3. Czy w treningu „rytmowym” uwzględniamy zajęcia na lewą i prawą kończynę atakującą?

Problem wykorzystanie prawej i lewej nogi atakującej w biegu na 400 m przez płotki był akcentowany w wielu pracach, począwszy od spostrzeżeń historyków (Quercetani 2009). Cooper (1966) zauważa, że w analizie przeważają płotkarze lewonozni – rzadziej dominującą kończyną jest noga prawa a także umiejętność posługiwania się obydwiema kończynami. Przyczyną wydaje się konieczność pokonania połowy dystansu w biegu po wirażu, z kierunkiem lewostronnym (Cooper, s. 62). Analiza wykorzystywania lewej (z punktu widzenia ukształtowania bieżni – „lepszey”) lub prawej kończyny atakującej to częsty element oceny strategii biegu (Dakin 2008, Hyjek 2014).

Wprowadzenie – trochę więcej teorii w kontekście biegu na 400 m przez płotki

W tej części pracy nieco szerzej potraktowano tekst ogólny, gdyż problem ten rzadko bywa analizowany w kontekście biegu na 400 m przez płotki.

Asymetria potocznie związana jest z brakiem, czasami tylko naruszeniem, symetrii, także proporcji i harmonii). Problemy asymetrii człowieka związane są z różnymi aspektami życia człowieka, w tym także z działalnością sportową, z biegiem na 400 m przez płotki włącznie.

Klasyczne publikacje związane z teorią motoryczności człowieka różnią 3 rodzaje asymetrii (Starosta 1990, 1994):

1. Asymetria funkcjonalna – dominacja jednej z kończyn (górnych lub dolnych). Każdy z płotkarzy na 400 m ma swoją „lepszą” kończynę atakującą, dlatego możemy wskazywać na skłonność do atakowania płotka lewą lub prawą nogą. Rzadko płotkarze nie przejawiają przewagi jednej z kończyn – ta „obustronność, czyli w przypadku płotkarzy „obunożność” może być dużym atutem w opracowaniu strategii biegu. Według analiz naukowych asymetria funkcjonalna związana jest z dominacją jednej z półkul mózgowych, a więc w treningu płotkarzy, należy skupić się na odpowiednim wykorzystaniu różnic a nie na ich korekcie.

2. Asymetria czynnościowa – przewaga jednej strony różnicująca ruchy m.in. sportowca. Często ten przejaw asymetrii nazywany jest stronnością lub lateralizacją.

3. Asymetria dynamiczna – dotyczy ilościowo przedstawionych różnic między sprawnością lewej i prawej części ciała. Proste testy motoryczne (np. rzut piłką lekarską prawą i lewą ręką lub skoki na lewej i prawej nodze) to jeden z przykładów. W przypadku biegu przez płotki może to być pomiar ruchomości w stawie biodrowym nogi zakroczonej lub analiza biomechaniczna kroku płotkowego wykonywanego na lewą i prawą nogę.

Często autorzy trzy powyższe problemy łączą w jeden używając ogólnego i pojemnego pojęcia „**lateralizacja**”. Lateralizacja to efekt wyboru i przewagi jednej z kończyn. Wg Osińskiego (1994) „Lateralizacja oznacza nie tylko przewagę sprawnościową w używaniu jednej kończyny ale większą skłonność do częstszego ich używania”.

W przypadku biegu przez płotki analizuje się udział nogi atakującej. Nie należy jednak zapominać, że często ważnym problemem jest sprawność nogi zakroczonej, która może pośrednio determinować strategię biegu, szczególnie w warunkach biegu po wirażu.

Według Starosty (2008) czynności ruchowe w sporcie mogą być:

A. Symetryczne – pływanie stylem klasycznym, wioślarstwo

B. Asymetryczne – lewa noga w strzale na bramkę czy prawa ręka w strzelaniu

C. Mieszane – skoki narciarskie, a także bieg na 400 m przez płotki. W tym przypadku samo pokonanie płotka jest asymetryczne, a bieg między płotkami – symetryczny.

Analizując dominację jednej z kończyn w przypadku ruchów asymetrycznych można wyróżnić:

A. Dominację (lateralizację) jednorodną – wykorzystanie tylko jednej nogi atakującej i jednej ręki (np. wyłącznie lewej). Taki wariant w przypadku biegu przez płotki nie jest możliwy

B. Dominację (lateralizację) niejednorodną – skrzyżowaną – wyraźnej dominacji jednej nogi zawsze towarzyszy dominacja przeciwnej ręki.

C. Dominacja nieustalona – obustronne wykorzystanie kończyny dolnej w czasie biegu na 400 m przez płotki to cenna umiejętność. Należy jednak pamiętać, że podstawowa zasada to lewa/prawa noga i przeciwna (prawa/lewa) ręka.

Lateralizacja jako niesymetryczność jednego z narządów (w przypadku sportu – narządu ruchu) jest cennym fragmentem analiz naukowych, także w lekkiej atletyce, także w biegu przez płotki.

Problematyka lateralizacji w biegu na 400 m przez płotki ma kilka istotnych wymiarów.

(1) Ocena dominującej nogi atakującej jest, na początkowym etapie szkolenia, trudna. Proste testy oceny asymetrii funkcjonalnej (Koszczyk i Sekita 2000) nie zawsze są najbardziej informacyjne w odniesieniu do specyfiki biegu. Starosta i wsp. (2012), poszukując testów oceny wyboru nogi atakującej zaproponował test skocznościowy, pomiar siły mierzony dynamometrem czy pomiar ruchomości w stawie biodrowym. Wynik były mało obiecujące. Więcej, w kontekście biegu na 400 m przez płotki, dostarczyły badania Wojciechowskiej-Maszkowskiej i wsp. (2021).

(2) Problem tzw. transferu bilateralnego – przenoszenia umiejętności z jednej strony ciała na drugą. Pytanie naukowców i, w okresie późniejszym, trenerów jest następujące – czy szkolenie płotkarza z wykorzystaniem dominujących kończyn może mieć wpływ na sprawność kończyn przeciwnych? I dalsze uwagi szkoleniowe – jakie powinny być proporcje ćwiczeń na lewą i prawą nogę atakującą, z uwzględnieniem wrodzonych predyspozycji i przyjętej strategii biegu?

Teoretycy sportu (Osiński i Starosta 1990) proponują wariant nauczania na obydwie kończyny, zwany „**symetryzacją ruchów**”. Czy jednak wyrównanie umiejętności prawej i lewej nogi jest korzystne z punktu widzenia przyjętej strategii (np. model 13-krokowy, na lewą nogę atakującą)?

Bardzo sugestywne jest w kontekście potrzeb biegu na 400 m przez płotki wydaje się zdanie „*Istotą postępowania staje się naprzemienne rozwijanie symetrii i asymetrii oraz na tej drodze tworzenie logicznej konstrukcji wszechstronnego kształtowania motoryki*” (Osiński i Starosta 1990).

Przepisy konkurencji z całą pewnością determinują wykorzystanie lewej i prawej nogi atakującej – w zależności od toru biegu (bieg po wirażu, szczególnie na wewnętrznych torach) oraz od stopnia zmęczenia (głównie w drugiej części biegu).

Problematyka wyboru prawej i lewej części ciała (oko, ręka, noga) dotyczy wielu sfer ludzkiego życia – (1) od codziennej egzystencji (np. prawo i leworęczni), (2) poprzez różnorodną działalność ruchową i sportową (piłkarze na lewym i prawym skrzydle, leworęczni szermierze) aż (3) po problemy biegu na 400 m przez płotki.

W międzynarodowej i wielowymiarowej publikacji (Loffing i wsp. 2016) autorzy piszą: *Lateralizacja w sporcie to coś więcej niż dwie strony tej samej monety* (s. 6). Z punktu widzenia biegu na 400 m przez płotki to całkowita prawda.

Analiza autorów uwzględnia kilka poziomów:

(1) Pierwszy poziom rozważań to analiza skłonności ludzi, zwykle utożsamianej z ruchem rąk i nóg.

(2) Drugi aspekt rozważań to obserwacja lewo/prawo ręcznych/nożnych piłkarzy, siatkarzy, szermierzy, tenisistów.

(3) Trzeci aspekt lateralizacji w sporcie dotyczy lekkiej atletyki, m.in. w analizie nogi objającej w skokach czy kończyny „atakującej” w biegu na 110/100 m przez płotki.

(4) Ostatni, zgodny z celami publikacji, aspekt stronności dotyczy wyboru „nogi atakującej” w biegu na 400 m przez płotki.

Schematyczne ujęcie problematyki stronności w biegu na 400 m przez płotki przedstawiono w tabeli 3.6.1.

Tabela 3.6.1.

Lateralizacja w kontekście biegu na 400 m przez płotki

Stronność	Bieg na 400 m przez płotki
Kończyna dolna (=noga) wiodąca/dominująca Także: kończyna górna	1. Kończyna (noga) atakująca 2. Kończyna (noga) zakroczna 3. Kończyna górna
Kończyna dolna „podporządkowana” Także: kończyna górna	1. Kończyna (noga) atakująca 2. Kończyna (noga) zakroczna 3. Kończyna górna

Wykorzystanie dominującej nogi atakującej wiąże się ściśle z ruchami nogi zakrocznej. W całościowym ujęciu pokonywania płotków aspekt lateralizacji dotyczy także ruchów kończyn górnych (Hyjek-Młynarczyk i wsp. 2017), które są ściśle podporządkowane pokonywaniem kolejnych przeszkód lewą i prawą nogą atakującą.

Wzajemne powiązanie ruchów jednej (dominującej) i drugiej „(podporządkowanej)” dotyczy specyficznej „ekonomii ruchów”, w tym przypadku optymalnego wykorzystania efektywnego pokonywania płotków nogą atakującą (lewą lub prawą) i zakroczną (prawą lub lewą).

W przeciwieństwie do powszechnych przyzwyczajęń lewonozność wydaje się w przypadku biegu na 400 m przez płotki przywilejem. W przypadku biegu na jedno okrążenie przez 10 płotków o wysokości 91 cm na różnicę asymetrii funkcjonalnej mogą wpływać:

- siła dynamiczna kończyn dolnych (mierzona np. wynikami trójskoku z miejsca na prawej i lewej nodze),
- gibkość w stawie biodrowym lewej i prawej kończyny,
- wytrzymałości siłowej mierzonej wynikami testu skocznościowego na 100 m,
- techniki pokonywania płotków (wynikającej m.in. z wcześniejszej specjalizacji na dystansie 110 m ppł).

Jednym z problemów poruszanych w pracy jest aspekt pomiaru różnic – w pracy wykorzystano powszechnie akceptowane metody analizy. Kolejnym akcentem w ocenie stronności jest okres identyfikacji talentów – w kontekście biegu na 400 m przez płotki nasuwa się pytanie – czy lewonozność jest atutem? Następne pytanie to – jak w późniejszym okresie

uczyć i szkolić, przyszłych płotkarzy. Czy w aspekcie różnic to tylko zabiegi kosmetyczne, czy zupełnie inny rodzaj szkolenia. Problemem wydaje się także transfer ćwiczeń na jedną kończynę, z nadzieją na transfer (w przypadku biegu na 400 m ppł) na drugą nogę. To zagadnienie inspirujące dla pracy trenerów. Pytanie następne to efekt asymetrii w ostatecznym wyniku zawodów. W przypadku biegu na 400 m ppł. to różnica poziomu sportowego płotkarzy „jednonożnych” i tych, którzy potrafią pokonywać przeszkody na obydwie nogi. Indywidualna analiza osiągnięć sportowych w kontekście stronności to ciekawy temat także w kontekście biegu na 400 m przez płotki. W cytowanej pozycji brak odnośników do biegu na 400 m ppł. To szansa do dalszych analiz.

Dotychczasowe analizy stronności (lateralizacji) w konkurencjach lekkoatletycznych dotyczyły głównie skoków i rzutów (Wolański 1979). Analizy nogi odbijającej w biegu przez płotki prowadzono głównie w grupie wysiłków na dystansie 110 i 100 m (pokonywanie płotków wyłącznie jedną nogą) – Starosta 1994, 2008. Próby analizy biegu na 400 m przez płotki z punktu widzenia lateralizacji podjęli m.in. Starosta i Kędzióra (1994).

W analizie Starosty i Kędziory (1994) przeprowadzonej po Mistrzostwach Świata w 1993 r. w Stuttgarcie oceniono zmiany nogi atakującej wszystkich zawodników ($n = 48$) a także uczestników wyłącznie biegów półfinałowych ($n = 24$). Autorzy wyodrębnili cztery warianty „symetryzacji ruchów”, określającej liczbę zmian nogi atakującej:

- brak zmiany nogi atakującej,
- jednokrotna zmiana,
- 2-3-krotna zmiana,
- 4 i więcej zmian.

W grupie płotkarzy 25% nie zmieniało nogi atakującej, a wariantem najczęściej wykorzystywanym była 2-3-krotna zmiana rytmu. Ważnym elementem analizy był wybór kończyny atakującej płotek – aż 80% płotkarzy atakowało płotki lewą nogą. Analiza dowiodła również, że zmiany nogi atakującej odbywały się głównie między 6. a 7. płotkiem.

Wyniki

W analizie biegu 230. płotkarzy wykazano przewagę wykorzystywanie lewej nogi atakującej w czasie pokonywania 9. z 10. płotków (tabela 3.6.2). Najwięcej takich przypadków dotyczyło płotków nr 1 i 2 (75,6%) oraz 4 (74,3%). Jedynym płotkiem, który w większości pokonywano prawą nogą był płotek nr 7 (ustawiony w środkowej części drugiego wirażu). To ważne informacje dla trenerów opracowujących strategię biegu.

Tabela 3.6.2.

Wykorzystanie nogi atakującej – P(rawej) i L(ewej)) w czasie pokonywania kolejnych płotków przez najlepszych zawodników świata (n = 230)

Płotek	Noga atakująca				Płotek	Noga atakująca			
	L	%	P	%		L	%	P	%
1	174	75,6	56	24,4	6	161	70,0	69	30,0
2	174	75,6	56	24,4	7	112	48,7	118	51,3
3	158	68,7	72	31,3	8	154	67,0	76	33,0
4	171	74,3	59	25,7	9	124	53,9	106	46,1
5	155	67,4	75	32,6	10	151	65,7	79	34,3

Tabela 3.6.3.

Zmiany nogi atakującej w czasie pokonywania płotków w kolejnych częściach dystansu

Płotki	Noga atakująca lewa		Noga atakująca prawa	
	n	%	n	%
1-2	348	75,6	112	24,4
3-4	329	71,5	131	28,5
5-6	316	68,7	144	31,3
7-8	266	57,8	194	42,2
9-10	275	59,8	185	40,2
1-5	832	72,3	318	27,7
6-10	702	61,0	448	39,0
1-10	1534	66,7	766	33,2

Dane wskazują na wyraźną dominację „lewonożności” w pierwszej części biegu na 400 m przez płotki. W drugiej części drugiego wirażu (płotki 7-8) udział prawej kończyny wyraźnie wzrasta, co stanowi wyraźny sygnał dla trenerów.

Tabela 3.6.4.

Udział kończyny dolnej w czasie pokonywania kolejnych płotków w grupie mężczyzn

Zmienna	L/P	x	SD	Min-max	Med	Sk	Ku	r
N1-10	L	6,70	3,14	0-10	8	-0,87	0,56	-0,08
	P	3,30	3,14	0-10	2	0,87	-0,56	0,08
IM		0,33		0-1		0,87	-0,56	0,08
IWN		-33,91		-100-100		0,87	-0,56	-0,08

IM = Indeks Mekoty (1984) = RL/RL + LL

IWN = Indeks Williamsa i Norrissa (2007) = RL - LL/RL + LL

Pomimo znacznej różnicy wykorzystywania lewej (67%) i prawej (33%) nogi atakującej nie stwierdzono istotnych zależności z końcowym wynikiem na dystansie 400 m przez płotki ($r = 0,08$) – tabela 3.6.4. Dane wskazują możliwości ustanawiania wysokiej klasy rezultatów także przez zawodników „prawonożnych”.

Wnioski

1. W przypadku biegu na 400 m przez płotki pokonanie płotka jest asymetryczne a bieg między płotkami symetryczny. Tak więc bieg ten jest (z punktu widzenia czynności ruchowej) mieszany
2. W biegu na 400 m przez płotki mamy do czynienia z lateralizacją niejednorodną-skrzyżowaną – z różnorodną dominacją jednej z kończyn (dolnych a pośrednio górnych).
3. W analizie biegu na 400 m przez płotki centrum uwagi dotyczy udziału „nogi atakującej” i wynikające z tego zmiany rytmu biegu. Nie należy zapominać, że wybór kończyny (prawa lub lewa) niesie za sobą konieczność ruchu „ręką atakującą” (lewej lub prawej). To często problem pomijany w analizach naukowych i treningowych. Poglądy wielu trenerów dotyczą m.in. początkowego ruchu kończyny górnej w czasie pokonywania płotka.
4. Istotą treningu płotkarza na 400 m przez płotki jest rozwijanie symetrii (bieg między płotkami) i asymetrii (pokonanie płotka) uwzględniając przyjętą strategię biegu dostosowaną do zdolności koordynacyjnych, kondycyjnych i przepisów konkurencji.
5. Specyfika asymetrii funkcjonalnej plotkarza na 400 m determinowana jest ukształtowaniem bieżni (bieg w lewą stronę), co z całą pewnością wpływa na różnice biomechanicznej struktury ruchu.
6. Atakowanie płotka lewą nogą to przede wszystkim pierwsza część dystansu (płotki – 1, 2, 4); w trudnych dla płotkarza odcinkach biegu (płotki 7 i 9) istotne znaczenie ma pokonywanie płotków prawą nogą atakującą.
7. Wyniki analizy nie wskazują na wyższość poziomu sportowego płotkarzy „lewonożnych”.

Wnioski aplikacyjne

1. W ocenie asymetrii funkcjonalnej plotkarza należy wypracować specjalistyczne testy.
2. Proporcje ćwiczeń wykonywanych na lewą i prawą nogę atakującą powinny być dostosowane do poziomu sportowego, budowy ciała, przebiegu kariery sportowej oraz stopnia przygotowania sprawnościowego i umiejętności technicznych.
3. Dwie trzecie aktywności nogi atakującej w biegu na 400 m przez płotki to kończyna lewa. Atakowanie płotków lewą nogą na pierwszym wirażu (płotki 1 i 2) wydaje się najbardziej pożądane.
4. Największy udział prawej nogi atakującej dotyczy dystansu po 7. płotku. Umiejętność pokonania płotków nr 7 (środek wirażu) i 9 (środek odcinka finiszowego) często są kluczowe w osiągnięciu wysokiego poziomu wyników.

5. Szanse na uzyskanie najlepszych wyników mają zarówno płotkarze „lewnożni” jak i „prawonożni”. W organizacji strategii biegu obydwie grupy muszą być jednak traktowane odmiennie

Piśmiennictwo

(prace wyłącznie z tematyki lateralizacji zamieszczono w całości, pozostałe umieszczono na końcu książki)

Cooper J. 1966.

Dakin N. 2008

Hyjek K. 2014

Hyjek-Młynarczyk K. i wsp. 2017.

Koszczyk i Sekita 2000. Transfer bilateralny w zakresie siły i szybkości ruchów na przykładzie transferu rozgrzewki. W: (red. T. Koszczyk) Transfer w procesie wychowania fizycznego, AWF, Wrocław, 151–162.

Loffing F., Hageman N., Stauss B., MacMahon C. 2016. *Laterality in Sport. Theories and Applications*. Academic Press, Elsevier, Amsterdam (+11)...Tokio.

Osiński W. 1994. Motoryczność człowieka – jej struktura, zmienność i uwarunkowania. AWF, Poznań.

Quercetani 2009.

Starosta W. 1990. Symetria i asymetria ruchów w treningu sportowym – poradnik dla trenera. Instytut Sportu, Warszawa.

Starosta W. 1994. Symetria i asymetria ruchów człowieka, [w:] (red. W. Osiński) Motoryczność człowieka – jej struktura, zmienność i uwarunkowania. AWF, Poznań.

Starosta W. 2008. *Stronne różnicowanie techniki ćwiczeń zawodników rozmaitych dyscyplin sportu*. Międzynarodowe Stowarzyszenie Motoryki Sportowej, Warszawa-Supraśl.

Starosta W., Kędziora R. 1995.

Wojciechowska-Maszkowska B., Marcinów R., Iskra J., Tataruch R. 2021. Postural Stability in Athletes during Special Hurdle Tests without a Definite Dominant Leg. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, <https://doi.org/103390/ijerph18010172>.

Wolański N. 1979. *Rozwój biologiczny człowieka*. PWN, Warszawa.

Piśmiennictwo uzupełniające:

Chanon 1991

Hay i Schoebel 1990

Lopez del Amo 2012

Walaszczyk i wsp. 2012

3.7. Parametry strategiczne – „taktyka” biegu a końcowe wyniki

W ocenie strategii biegu na 400 m przez płotki podstawową częścią analizy są zmiany czasu poszczególnych odcinków (prędkości biegu) w kontekście zmian liczby kroków. Analiza „taktyki” biegu czasami obejmuje pozycje płotkarza po pokonaniu kolejnych (P1-P10) płotków.

W zależności od etapu rywalizacji (od eliminacji do finału) strategie przyjęte przez najlepszych zawodników nie zawsze są podobne. Henley i Hettinga (2021), analizując różne strategie biegów sprinterskich i płotkarskich na trzech etapach rywalizacji (uczestnicy Igrzysk Olimpijskich i Mistrzostwa Świata 2012–2019) dowodzą różnej strategii biegu w grupach finalistów. Medaliści na każdym etapie uzyskują coraz lepsze wyniki, płotkarze z miejsc 4–6 potrafią powtórzyć wynik z półfinału, natomiast najslabsi finaliści (miejscza 7–8) w ostatecznej rozgrywce wyraźnie obniżają poziom sportowy. Analiza pozycji na kolejnych płotkach w kontekście końcowego wyniku nie jest częsta (Guex 2001). Problem ten wydaje się jedna interesująca w kontekście przyjętej strategii biegu.

Dla przykładu przedstawiono pozycje na kolejnych płotkach najlepszych zawodników wybranych imprez (tabela 3.7.1.).

Tabela 3.7.1.

Pozycje po pokonaniu kolejnych płotków medalistów wybranych igrzysk olimpijskich

Impreza	Zawodnik/ Miejsce/ Wynik	Pozycje po pokonaniu kolejnych płotków										
		1H	2H	3H	4H	5H	6H	7H	8H	9H	10H	
OG 1988 Seul	Philips/1/47,19	=1	=1	=1	=1	=1	=1	=1	=1	=1	1	1
	Dia Ba/2/47,23	=3	=5	=1	=1	=1	=1	=3	=3	3	3	
	Moses/3/47,56	=1	=1	=1	=1	=1	=1	=1	=1	=1	2	2
OG 1992 Barcelona	Young/1/46,98	=1	=1	=1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Graham/2/47,66	=1	3	=3	=2	=2	2	2	2	2	2	2
	Akabushi/3/47,82	6	=4	=3	4	4	=3	3	=3	=3	3	
OG 2000 Sydney	Taylor/1/47,50	=2	=2	=2	=3	=3	=1	=1	=2	=2	2	
	Al Somaly/2/47,53	=2	=2	4	=3	=3	=1	=1	1	1	1	
	Hebert/3/47,81	6	5	5	=5	=5	=5	=5	=4	=4	=3	
OG 2008 Pekin	Taylor/1/47,25	=2	=2	=1	1	1	1	1	1	1	1	
	Clement/2/47,98	5	=4	=1	=2	2	2	2	2	2	2	
	Jackson/3/48,06	1	1	=4	=5	6	6	5	5	3	3	

OG 2021 Tokio	Warholm/1/45,	1	1	1	1	1	1	1	1	=1	=1
	94	2	2	2	2	2	2	2	2	=1	=1
	Benja- min/2/46,17 Dos San- tos/3/46,72	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3

Dane zawarte w tabeli 1 wskazują na różne „taktyki” biegu przyjęte przez najlepszych płotkarzy świata. Edwin Moses (1988) za szybko rozpoczął pierwszą część dystansu, Llewellyn Herbert (2000) zaczął wolno, ale w końcówce zapewnił sobie brązowy medal. Ciekawą taktykę realizował w 2008 r. Bershawn Jackson rozpoczął bardzo szybko, potem zdecydowanie „zwolnił”, by na finiszowych dwóch płotkach zapewnić sobie medal olimpijski. Na ostatnich Igrzyskach Olimpijskich w Pekinie, Karsten Warholm zdecydowanie prowadził, jednakże na 9. płotku dogonił go Benjamin; finisz Norwega był jednak decydujący.

Wyniki

Zmienne strategiczne (miejsca zajmowane po pokonaniu kolejnych płotków, pośrednio – taktyka biegu) mogą być traktowane dodatkowo w stosunku do struktury czasowej biegu.

W analizie uwzględniono jedynie te wyniki, które dotyczyły biegów z udziałem minimum 6 płotkarzy. W sumie prześledzono wyniki 18 finałowych biegów imprez międzynarodowych rozgrywanych w latach 1968–2017.

Tabela 3.7.2.

Wyniki analizy korelacji między pozycją na każdym płotku a międzyczasem w danej części biegu

Zmienne	r	Zmienne	r
P1/t0-1	0,53	P6/t0-6	0,63
P2/t0-2	0,58	P7/t0-7	0,65
P3/t0-3	0,60	P8/t0-8	0,66
P4/t0-4	0,60	P9/t0-9	0,64
P5/t0-5	0,61	P10/t0-10	0,63
<u>P400H/t400H: r = 0,65</u>			

Analiza korelacji pomiędzy pozycją zajmowaną po pokonaniu kolejnych płotków a czasem biegu dowodzi, poza pierwszą częścią biegu ($r = 0,53$), podobnej, (na poziomie $r = 0,58-0,66$, $p \leq 0,001$) zależności. Dane wskazują na fakt różnej strategii biegu, w zależności od rangi imprezy, poziomu przygotowania zawodnika i specyficznej sytuacji na bieżni. Te „taktyczne” rozwiązania mogą dotyczyć różnych części biegu – w największym stopniu w początkowej jego części. W sumie czas biegu na dystansie 400 m ppł. koreluje z pozycją na mecie na poziomie $r = 0,65$ – tabela 3.7.2.

Specyfikę strategii biegu na 400 m przez płotki w czasie finałowych biegów na imprezach mistrzowskich podkreśla analiza korelacji między Pozycją biegu na kolejnych etapach a miejscem zajmowanym na mecie. (tabela 3.7.3.).

Tabela 3.7.3.

Pozycja płotkarza po pokonaniu kolejnych płotków a miejsce zajmowane na mecie dystansu

Część dystansu								
I część biegu P1-3/P400H	r	r ²	II część biegu P4-7/P400H	r	r ²	III część biegu P7-10/P400H	r	r ²
P1	0,33	0,11	P4	0,47	0,22	P8	0,64	0,41
P2	0,41	0,17	P5	0,51	0,26	P9	0,76	0,58
P3	0,46	0,21	P6	0,52	0,27	P10	0,84	0,70
			P7	0,55	0,30			

Dane zawarte w tabeli 3.7.3. dowodzą faktu stopniowanej „pewności” końcowego miejsca. Współczynnik determinacji (r²) wskazuje na niewielkie szanse oceny miejsc na mecie w pierwszej części biegu (w 11–21%). Wysiłek na drugim wirażu jeszcze nie jest pewnikiem w ocenie końcowej sytuacji na mecie (22–30%). Pokonanie ósmego płotka to dopiero 41% szans na utrzymanie miejsca a ostatni płotek (P10) już 70%.

W analizie strategii biegu na 400 m płotkarzy uczestniczących na Igrzyskach Olimpijskich w Sydney (2000). Ditroilo i Marini (2001) ustalili zależności między pozycjami na 5. i 8. płotku (P5 i P8) a końcową klasyfikacją. Korelacje przeprowadzono na wszystkich etapach olimpijskiej rywalizacji – w eliminacjach (odpowiednio – r = 0,51 i 0,72; p ≤ 0,001), w półfinałach (0,44 i 0,77) oraz w finale (0,54 i 0,93). Wyniki analizy z biegu finałowego są nieco wyższe niż analiza obszernego materiału w tej części książki.

Tabela 3.7.4.

Współczynniki korelacji między pozycjami na kolejnych płotkach

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
P1	-									
P2	0,75	-								
P3	0,62	0,83	-							
P4	0,57	0,74	0,88	-						
P5	0,53	0,69	0,85	0,93	-					
P6	0,51	0,69	0,83	0,87	0,92	-				
P7	0,52	0,69	0,81	0,84	0,88	0,93	-			
P8	0,49	0,69	0,80	0,82	0,85	0,88	0,93	-		
P9	0,48	0,65	0,74	0,76	0,79	0,80	0,87	0,93	-	
P10	0,42	0,56	0,65	0,67	0,71	0,72	0,76	0,83	0,93	-

Ciekawym elementem analizy jest ustalenie związków między pozycjami na kolejnych płotkach. Dane dowodzą, że związek między pozycją na pierwszym (P1) a ostatnim płotkiem (P10) jest niewielki ($r = 0,42$). Najmniejsza zależność między pozycją na sąsiadujących płotkach ma miejsce w pierwszej części dystansu (P1-P4). Od czwartego płotka do ostatniej przeszkody (P4-P10) obserwuje się wyraźny związek ($r = 0,93$) – tabela 3.7.4.

Wnioski

1. Zmienne strategiczne mogą być traktowane jako dodatkowe w stosunku do struktury czasowej biegu.
2. Pozycje zajmowane w pierwszej części biegu to jedynie ok. 20% pewności na sukces; po ostatnim płotku możemy być pewni w 70% na odniesienie zwycięstwa.
3. Po pokonaniu piątego płotka zależność pozycji zajmowanej na sąsiednich płotkach jest wysoka (powyżej $r = 0,90$).

Wnioski aplikacyjne

1. Każdy z płotkarzy powinien opracować własną „tastykę” biegu, opartą na typie sprawności motorycznej i umiejętnościach dotyczących rytmu płotkarskiego.
2. Pozycje zajmowane po pokonaniu kolejnych płotków mogą mieć znaczenie psychologiczne, szczególnie w czasie biegu na sąsiednich torach.

Piśmiennictwo*

Ditroilo i Marini 2001
Guex 2001
Henley i Hettinga 2021
Iskra 2012

*pełna identyfikacja na końcu pracy

3.8. Parametry regulaminowe – tor biegu a możliwości uzyskania najlepszych wyników

Pytanie:

- | |
|---|
| 1. Czy tor biegu (wewnętrzny, środkowy, zewnętrzny) ma wpływ na poziom wyników? |
|---|

Analiza historyczna

W pierwszym olimpijskim starciu, 31. sierpnia 1904 r., startowało tylko czterech płotkarzy dla których ustawiono 4 tory. Na ostatnim biegał późniejszy zwycięzca Harry Hillman (Grinberg i Parczewski 2020a). Tak więc, Amerykanin biegał na ostatnim torze, który jednak, zgodnie z obecnymi przepisami, był torem „środkowym”.

Warto zauważyć, że bieżnia stadionu w St. Louis mierzyła aż 536,5 m. Wobec tego, płotkarze na 400 m nie musieli pokonywać pełnych dwóch wirażów. Płotkarze na 400 m mieli więcej szczęścia niż sprinterzy na tym dystansie (w liczbie 13.), którzy rozpoczynali bieg ze startu wspólnego – jak obecnie biegacze na 1500 m.

Kolejne Igrzyska (Londyn, 1908 r.) jeszcze bardziej zagmatwały problem biegu po torach. Bieg rozgrywany po torach, w przeciwieństwie do biegu na 400 m. Mimo, iż nie są znane szczegóły rozstawienia torów, zdjęcia z biegu finałowego sugerują 3. tor Bacona. W biegu na 400 m (bez płotków) startowano z jednej linii, a zawodników ustawiono od wewnętrznej, wg poziomu sportowego (Grinberg i Parczewski 2020b).

Wznowiona (po 8. latach; 16. sierpnia 1920 r.) rywalizacja w biegu na jedno okrążenie przez płotki, po raz pierwszy miała miejsce na klasycznej 400 m. bieżni, z wykorzystaniem torów przeznaczonych dla 6. płotkarzy. Zwycięzca, Amerykanin Frank Loomis biegał na trzecim torze. W 1924 r. w grupie sześciu biegaczy pierwszy złoty medal zdobył Frank Morgan Taylor, który tryumfował z pierwszego toru (Grinberg i Parczewski 2021). W 1928 r. Lord Burghley dwukrotnie (w eliminacjach i w finale) biegał po 5., przedostatnim torze. W olimpijskich od 1932 r. tory zwycięzców można ocenić na podstawie witryny www.olympedia.org (dn. 10.04.2022).

W roku 1968 po raz pierwszy rywalizację olimpijską przeprowadzoną na bieżni 8-torowej, co w znacznej mierze rozszerzyło możliwości rozstawienia zawodników. Warto zauważyć, że zwycięzca olimpijski i rekordzista świata John Aki-Bua w kolejnych olimpijskich biegach rywalizował na wewnętrznych torach (2,2 i w finale na pierwszym).

W 1996 r. zwycięzca (Derrick Adkins) startował na 6. torze, ale drugi na mecie Samuel Matete biegł na torze pierwszym. W 2000 r. Angelo Taylor jako trzeci płotkarz w historii zwyciężył z toru nr 1, wyprzedzając już na początku biegu rywalizującego na 2. torze Pawła Januszewskiego. Późniejsze, zwycięskie tory Felixa Sancheza (2004, 2012) dotyczyły torów ze-

wewnętrznych (6. i 7.) Na Igrzyskach w 2016 r. złoty medalista Kerron Clement startował z toru 5., a brązowy medal zdobył z toru nr 2 wysoki i silnie zbudowany (196 cm/86 kg) Yasmani Copello. Warto zauważyć, że startujący w półfinale Karsten Warholm biegnąc po 5. torze nie zakwalifikował się do finału.

Na Igrzyskach w Pekinie i w Tokio zawodnicy startowali na bieżni 9-torowej; w finałowych biegach pierwszy tor pozostał wolny. Dlatego też rzeczywiste tory medalistów na ostatnich Igrzyskach w Tokio to 5-4-6.

Analiza naukowa

Analiza biegów po wirażu, z uwzględnieniem krzywizn bieżni, była wielokrotnie analizowana w biegach płaskich, także z uwzględnieniem siły i kierunku wiatru oraz wysokości n.p.m. (Greene 1985, Mureika 1997, Quinn 2003). W pracy Quinn (2010) dowiedziono, że najlepsze wyniki w biegu na 400 m przez płotki mężczyźni (w grupie najlepszych płotkarzy świata w historii tej konkurencji) dotyczą toru 8., na wysokości 2250 m n.p.m. (Meksyk), z siłą wiatru 2 m/s, wiejącego w kierunku 240 stopni w stosunku do linii mety.

Te teoretyczne dane mogą być pomocne w poszukiwaniu optymalnych warunków do ustanawiania rekordowych wyników. Wg Quinn (2010) bieg w ww. warunkach pozwala odjąć 0,39 s od standardów rywalizacji.

Trudności z pokonywaniem dystansu sprinterskiego w biegu po wirażu potwierdzają badania biomechaników. Badania dowiodły, że im bardziej wewnętrzny tor (1-3) tym występują większe utrudnienia w pokonywaniu płotka (Chang i Kram 2007) i większy jest proces zmęczenia mięśni (Masterlerz i wsp. 2017).

Analiza szkoleniowa

Poglądy szkoleniowców częściowo są zbieżne z wynikami tej analizy. Pokonywanie płotków na wewnętrznych torach (1-3) wiąże się z negatywnym działaniem siły odśrodkowej, głównie w grupie płotkarzy atakujących pierwsze płotki zewnętrzną (prawą) nogą atakującą. Z drugiej strony bieganie po zewnętrznej części toru i pokonanie płotka lewą kończyną grozi dyskwalifikacją (noga zakroczna poza linią płotka) – Lindeman 1995, McFarlane 2004, Iskra 2012). Zagadnienie biegu po wirażu jest ważne z punktu widzenia organizacji szkolenia. Dawno temu Mitchell (1968) zauważył, że straty prędkości biegu płotkarzy są większe niż biegaczy na 400 m.

Dodatkowej komplikacji w ocenie efektywności (poprawności) biegu dodają przepisy biegu – na torach 6-8 tylko 4 odległości pokonywane są na prostej i (aż) 6 na wirażach (IAAF, 2009) – patrz wcześniejsza rycina.

Analiza rywalizacji na igrzyskach olimpijskich dowodzi różnorodności dochodzenia do olimpijskich medali (tabela 3.8.1.).

Tabela 3.8.1.

Tory medalistów olimpijskich w biegu na 400 m przez płotki

Tor	Złoty medal	Srebrny medal	Brazowy medal
1	Taylor F.M. (1924) ¹ Akii-Bua (1972) Taylor (2000)	Cuhel (1928) Litujew (1952) Shine (1976) Matete (1996)	Culbreath (1956) Howard (1960) Oakes (1980)
2		Southern (1956) Hennige (1968) Archipienko (1980) Tumuti (2016)	Desh (1920)
3	Bacon (1908)* Loomis (1920) Tisdall (1932) Cochran (1948)	Loaring (1936) Graham (1992)	Taylor F.M. (1928) Holland (1952) Moses (1988)
4	Hillman (1904)* Davis G. (1956) ¹ Moses (1976) Young (1992)	Cooper (1964) Harris (1984) Al Somaily (2000) Clement (2008)	Riley (1924) Taylor F.M. (1932)
5	Burghley (1928) ¹ Clement (2016)	Norton (1920) Wilen (1924) White (1948) Cushman (1960) Dia Ba (1988) McFarlane (2004) (4) Benjamin (2021) ²	White M. (1936) Hemery (1972) Schmid (1984) Akabusi (1992) (4) Culson (2012) ² Davis C. (1996)
6	Hardin (1936) ¹ Moore (1952) ¹ Davis G. (1960) ¹ Cawley (1964) ¹ Hemery (1968) Adkins (1996) Sanchez (2004) Taylor A. (2008) (5) Warholm (2021)	Hardin (1932) Mann (1972) (5) Tinsley (2012) ²	Larsson (1948) Herbert (2000)
7	(6) Sanchez (2012) ²	(6) Dos Santos (2021) ²	Copello (2016) Jackson (2008) Keita (2004)
8	Beck (1980)		Morale (1964) Sherwood (1968) Gawrilenko (1976)
9	²		

¹Bieżnia 6-torowa, ²bieżnia 9-torowa, pierwszy tor wolny, *startowało tylko 4 płotkarzy

Wyniki

W analizie wyników w kontekście przyjętego toru biegowego uwzględniono dostępne dane z wszystkich imprez mistrzowskich ($n = 260$).

Analiza korelacji nie wykazała związków między torem biegu (1-9) a wynikami w biegu na 400 m przez płotki ($r = 0,083$, $p \geq 0,05$).

Dużo ciekawsze jest porównania czterech wariantów toru – tabela 3.8.2.

Tabela 3.8.2.

Zróznicowanie poziomu wyników płotkarzy biegających na różnych torach

Grupa	n	Tor	$\bar{x} \pm SD$	min-max
A	58	1-2	48,92±0,63	47,50-50,14
B	65	3-4	48,51±0,74	46,78-50,25
C	67	5-6	48,27±0,71	47,18-50,18
D	70	7-8 (9)	47,85±0,72	47,63-50,69
Razem	260	1-8 (9)	48,63±0,75	46,78-50-69

W aspekcie przydziału torów najlepsi są biegacze rywalizujący na torach środkowych 5-6 – tabela 2. Oczywiście na wynik analizy ma wpływ losowanie torów, uwzględniając torry środkowe dla najlepszych zawodników.

Analiza wariancji (test Tuckey'a dla nierównych liczebności) dowodzi istotnych różnic między biegaczami z torów 5-6 a płotkarzami biegającymi na torach zewnętrznych (1-2, 7-9). Zaznaczono także istotne statystycznie różnice między poziomem sportowym zawodników z torów 3-4 a płotkarzami z torów zewnętrznych (7-9) – tabela 3.8.3.

Tabela 3.8.3.

Istotność różnic między grupami zawodników biegających na różnych torach

Grupa	A	B	C	D
A	-			
B	0,08	-		
C	0,00	0,21	-	
D	0,94	0,03	0,00	-

p, test Tuckey'a

Wnioski

1. Tory najbardziej sprzyjające osiągnięciu rezultatów wysokiego poziomu to 5-6, a w dalszej kolejności 3-4.
2. Pomimo statystycznych preferencji, sukcesy w biegu na 400 m przez płotki osiągnęli zawodnicy biegający po wszystkich (1-8) torach.

Wnioski aplikacyjne

1. Proces szkolenia płotkarzy powinien obejmować dwa elementy treningu technicznego – bieg przez plotki po prostej i po wirażu. Obydwie części należy realizować na wypoczynku i po znacznym zmęczeniu wysiłkiem anaerobowym.
2. Treningi rytmowe w biegach po wirażu należy realizować z uwzględnieniem wszystkich torów (różnych krzywizn bieżni).

Piśmiennictwo*

Chang i Kram 2007
Greene 1985
Grinberg D., Parczewski A. 2020a
Grinberg D., Parczewski A. 2020b
Grinberg D., Parczewski A. 2021
Iskra 2012
Lindeman 1995
McFarlane 2004
Mitchell 1968
Mureika 1997
Quinn 2003

*pełna identyfikacja źródeł końca pracy

4. Analizy tematyczne

4.1. Historyczne zmiany strategii biegu na 400 m przez płotki mężczyzn

Pytanie:

1. W jaki sposób zmienia się strategia biegu w okresie 50 lat rozwoju biegu na 400 m przez płotki mężczyzn?

Wprowadzenie

Rozwój wyników w lekkoatletyce jest procesem nieuniknionym i w miarę systematycznym. Taka sytuacja dotyczy także biegu na 400 m przez płotki. Zmiany strategii biegu (czasowej i przestrzennej) przedstawiono we wcześniejszych częściach pracy. W tej części skoncentrowano się na empirycznej analizie zmian poziomu wyników w okresie po 1968 r. (po wprowadzeniu nawierzchni tartanowych) do roku 2017 (zdecydowany wzrost poziomu sportowego).

W tym okresie padły rekordy świata:

- 1968 r., 48,12 s – David Hemery,
- 1972 r., 47,82 s – John Akii-Bua,
- 1976-1983 r., 47,64/47,45/47,13/47,02 s – 4-krotnie Edwin Moses,
- 1992 r., 46,78 s – Kevin Young.

Do 2021 r. ostatni rekord nie został poprawiony, jednakże nie oznaczało to regresu tej konkurencji. Aspekt historyczny poruszano wcześniej w wielu publikacjach (patrz piśmiennictwo uzupełniające) oraz w pracach Iskry i współpracowników (Iskra i wsp. 2012, 2015).

Materiał i metoda

W analizie zmian poziomu wyników w okresie od 1968 do 2017 r. (50 lat) oceniono zmienne strategii biegu we wszystkich imprezach mistrzowskich tego okresu (szczegóły podano w części metodologicznej).

Płotkarzy ($n = 296$) podzielono na 3 grupy:

- A ($n = 87$) – okres 1968–1991
- B ($n = 96$) – okres 1992–2005
- C ($n = 113$) – okres 2006–2017

Analizowano dane związane z parametrami biegu, szczegółowo określonymi w części metodologicznej. Różnice międzygrupowe oceniano na podstawie analizy wariancji (ANOVA).

Wyniki

Wyraźny ($p \leq 0,01$) postęp wyników nastąpił w okresie 1992–2005. W czasie między wiekami pojawiło się wielu wybitnych płotkarzy (Young, Clement, Jackson). W ostatnich latach poziom biegu na 400 m przez płotki obniżył się nieznacznie. Różnice wyników dotyczyły głównie czasu biegu między płotkami – ten parametr różnicował w sposób istotny także grupy B i C, z niekorzyścią na rzecz płotkarzy z ostatniego okresu.

Analiza dowiodła, że od 50 lat płotkarze mają podobną budowę ciała – 186 cm i 76 kg (BMI = 22,20). W ostatnim okresie biegacze rozpoczynają specjalizację nieco wcześniej (18 lat) z wynikiem podobnym do rezultatów o rok starszych kolegów z lat poprzednich – tabela 4.1.

Przygotowanie z zakresu wytrzymałości beztlenowej (T400) oraz przygotowanie techniczne (WPT) nie zmieniają się.

W zakresie parametrów czasowych – współcześni płotkarze szybciej rozpoczynają bieg (t0-1, p) ale znacznie wolniej go kończą. Charakterystyczne, że czas finiszu zwiększa się systematycznie – najszybciej biegali ten ostatni odcinek płotkarze sprzed 30-50 lat.

Płotkarze grupy C najszybciej pokonują pierwszy odcinek biegu (T1-3), jednakże najwolniej biegają na ostatniej prostej (T8-10).

Strategia biegu sprzed 30–50 lat wykazywała najmniejsze różnice zmian prędkości (m.in. T6-10-T1-5), obecnie różnice te są największe, będące wynikiem szybkiego początku i słabszej „końcówki”.

Analiza liczby kroków wykonywanych w poszczególnych częściach biegu nie wykazała istotnych różnic. Istotna statystycznie wartość danych dotyczy różnicy między drugą (N6-10) a pierwszą (N1-5) częścią biegu. Okazuje się, że w grupie najszybciej biegających płotkarzy z lat 1991–2004 różnica ta była największa. A więc, opłacalne było bieganie w pierwszej części „rytmem” 13-krokowym i przejście w drugiej części w bieg głównie na 14 kroków. W tej grupie najczęściej biegano właśnie w rytmie parzystym, 14-krokowym. Płotkarze z grupy A w większym stopniu preferowali bieg 15-krokowy. Cechą charakterystyczną płotkarzy grupy B jest częste zmiany „stride pattern”, najczęściej wg schematu 13-14-15. Płotkarze współcześni przygotowani są do pokonywania płotków obydwoma nogami, co wiąże się z możliwością wykorzystywania „rytmu” 14-krokowego.

Tabela 4.1.

Zmiany wybranych parametrów w trzech okresach historycznych

Zmienna	Grupa			ANOVA		Test Tuckay'a
	A	B	C	F	p	
1. Parametry podstawowe						
T400mH (s)	48,89 ± 0,86	48,46 ± 0,88	48,71 ± 0,70	6,44	xx	AB
T1-10H (s)	37,51 ± 0,78	37,06 ± 0,53	37,37 ± 0,51	12,72	xx x	AB BC
Wiek (lata)	25,41 ± 3,59	26,49 ± 3,21	25,92 ± 4,09	1,96	NS	-
Wysokość ciała (cm)	186,29 ± 4,96	184,23 ± 5,81	185,78 ± 6,53	1,99	NS	-
Masa ciała (kg)	76,88 ± 6,01	75,51 ± 5,61	76,97 ± 5,61	0,13	NS	-
BMI	22,13 ± 1,13	22,23 ± 0,99	22,30 ± 1,18	0,57	NS	-
Wiek inicjacji (lata)	19,52 ± 3,00	19,34 2,88	18,38 2,48	4,84	xx	-
Wynik inicjacji (s)	51,96 ± 2,16	51,71 2,12	51,79 1,67	0,33	NS	-
T400 (s)	46,10 ± 0,91	45,88 0,68	45,90 0,90	2,87	NS	-
WPT (s)	2,11 ± 0,78	2,04 0,61	2,18 0,65	1,02	NS	-
2. Parametry czasowe						
t 0-1	6,05 ± 0,12	6,01 ± 0,10	5,95 ± 0,13	15,04	xx x	AC BC
t 1-2	3,80 ± 0,13	3,76 ± 0,12	3,72 ± 0,11	8,78	xx x	AC
t 2-3	3,85 ± 0,13	3,78 ± 0,11	3,79 ± 0,12	8,40	xx x	AB AC
t 3-4	3,91 ± 0,13	3,85 ± 0,11	3,89 ± 0,12	5,67	xx x	AB BC
t 4-5	3,99 ± 0,13	3,95 ± 0,10	3,98 ± 0,10	4,81	xx	AB BC
t 5-6	4,13 ± 0,13	4,05 ± 0,10	4,11 ± 0,10	11,65	xx x	AB BC
t 6-7	4,26 ± 0,12	4,21 ± 0,12	4,25 ± 0,09	4,59	xx	AB
t 7-8	4,38 ± 0,11	4,33 ± 0,11	4,37 ± 0,10	4,44	xx	AB BC
t 8-9	4,52 ± 0,11	4,48 ± 0,11	4,53 ± 0,13	5,48	xx	BC
t 9-10	4,66 ± 0,13	4,63 ± 0,15	4,69 ± 0,15	4,12	xx	BC
t 10-F	5,31 ± 0,27	5,33 ± 0,27	5,39 ± 0,30	2,15	NS	
% t 0-1	12,38 ± 0,28	12,42 ± 0,22	12,22 ± 0,24	19,38	xx x	AB BC
% t 1-2	7,77 ± 0,20	7,77 ± 0,24	7,64 ± 0,21	11,47	xx x	AB BC
% t 2-3	7,88 ± 0,22	7,81 ± 0,21	7,78 ± 0,21	4,41	x	AC
% t 5-6	8,45 ± 0,21	8,38 ± 0,19	8,45 ± 0,20	4,08	x	BC
t fastest	3,77 ± 0,09	3,72 ± 0,10	3,71 ± 0,10	9,75	xx x	AB AC
t przedostatnie	4,52 ± 0,11	4,48 ± 0,11	4,53 ± 0,13	5,48	xx	BC
t slowest	4,66 ± 0,13	4,63 ± 0,15	4,69 ± 0,15	4,32	x	BC
T 1-3	7,65 ± 0,22	7,54 ± 0,20	7,52 ± 0,20	9,99	xx x	AB AC
T 3-5	7,91 ± 0,25	7,80 ± 0,16	7,87 ± 0,21	6,41	xx	AB BC
T 5-7	8,39 ± 0,24	8,27 ± 0,17	8,36 ± 0,15	10,76	xx x	AB BC

T 6-8	8,64 ± 0,22	8,55 ± 0,18	8,62 ± 0,16	6,30	xx	AB BC
T 8-10	9,17 ± 0,22	9,10 ± 0,23	9,22 ± 0,26	6,06	xx	BC
T 1-4	11,56 ± 0,33	11,39 ± 0,24	11,41 ± 0,28	8,38	xx x	AB AC
T 4-7	12,38 ± 0,35	12,21 ± 0,21	12,34 ± 0,19	11,55	xx x	AB BC
T 7-10	13,56 ± 0,31	13,44 ± 0,28	13,59 ± 0,32	7,10	xx x	BC
T 1-5	15,56 ± 0,43	15,34 ± 0,29	15,39 ± 0,35	7,62	xx x	AB AC
T 5-9	17,29 ± 0,40	17,07 ± 0,29	17,26 ± 0,28	12,21	xx x	AB BC
T 6-10	17,81 ± 0,39	17,64 ± 0,33	17,84 ± 0,36	8,20	xx x	AB BC
T 0-5	21,60 ± 0,47	21,35 ± 0,34	21,35 ± 0,41	10,45	xx x	AB AC
T 0-8	34,37 ± 0,73	33,95 ± 0,44	34,08 ± 0,51	11,97	xx x	AB AC
T 6-10 - T 1-5	2,25 ± 0,43	2,31 ± 0,43	2,45 ± 0,53	4,26	x	AC
T 4-7 - T 1-4	0,82 ± 0,26	0,82 ± 0,27	0,94 ± 0,24	6,55	xx	AC BC
T 7-10 - T 4-7	1,17 ± 0,35	1,22 ± 0,26	1,25 ± 0,36	1,29	NS	
T 7-10 - T 1-4	2,00 ± 0,36	2,04 ± 0,38	2,19 ± 0,45	5,71	xx	AC BC
T 1-5 % 400 H	31,83 ± 0,58	31,71 ± 0,52	31,60 ± 0,65	3,37	NS	
T 6-10 % 400 H	36,46 ± 0,41	36,47 ± 0,46	36,63 ± 0,48	4,13	NS	
T 0-1 % 400 H	12,38 ± 0,28	12,41 ± 0,22	12,22 ± 0,24	19,38	xx x	AB BC
T 1-3 % 400 H	15,65 ± 0,33	15,58 ± 0,38	15,42 ± 0,37	9,51	xx x	AB BC
T 3-5 % 400 H	16,18 ± 0,37	16,12 ± 0,28	16,17 ± 0,39	0,84	NS	
T 6-8 % 400 H	17,68 ± 0,25	17,66 ± 0,31	17,70 ± 0,28	0,45	NS	
T 8-10 % 400 H	18,78 ± 0,34	18,82 ± 0,35	18,93 ± 0,40	4,34	xx	AC
T 10-F % 400 H	10,87 ± 0,50	11,01 ± 0,51	11,06 ± 0,55	3,00	x	AC
3. Parametry przestrzenne						
N 1-5	53,31 ± 2,87	53,05 ± 2,02	53,26 ± 2,44	0,28	NS	
N 6-10	57,03 ± 2,79	57,69 ± 2,13	57,61 ± 2,34	2,01	NS	
N 1-4	39,98 ± 2,18	39,75 ± 1,53	39,86 ± 1,78	0,35	NS	
N 4+7	40,74 ± 2,17	40,76 ± 1,40	40,99 ± 1,83	0,60	NS	
N 7-10	43,14 ± 2,10	43,70 ± 1,66	43,44 ± 1,75	2,12	NS	
N 6-10 - N 1-5	3,71 ± 2,56	4,64 ± 2,05	4,27 ± 2,06	3,95	x	AB
N 13	5,73 ± 1,69	5,13 ± 1,24	5,00 ± 1,48	5,12	xx x	AB AC
N 14	3,05 ± 1,50	3,44 ± 1,76	3,46 ± 1,18	1,40	NS	
N 15	4,04 ± 2,77	2,73 ± 1,31	3,31 ± 2,19	5,58	xx x	AB

4. Parametry rytmowe						
Liczba zmian rytmu	1,11 ± 0,80	1,47 ± 0,60	1,37 ± 0,73	5,96	xx	AB AC
% Parzyste	21,20 ± 22,13	33,45 ± 22,43	32,45 ± 19,76	9,29	xx x	AB AC
% Nieparzyste	78,80 ± 22,13	66,55 ± 22,43	67,55 ± 19,76	9,29	xx x	AB AC
Typ rytmu	4,94 ± 2,21	6,04 ± 1,69	5,62 ± 2,03	7,10	xx x	AB

Wnioski:

1. Budowa ciała i poziom przygotowania motorycznego i technicznego nie zmienia się od 50 lat.
2. Specjalizacja płotkarzy ostatniego okresu obniżyła się z 19 do 18 lat inicjacji płotkarskiej na 400 m.
3. Płotkarze ostatniego okresu szybciej rozpoczynają bieg i wolniej pokonują dystans na ostatniej prostej.
4. Liczba kroków międzypłtkowych nie ulega na przestrzeni 50. lat istotnym zmianom. W rozwoju tego elementu strategii na uwagę zasługuje zwiększenie możliwości biegu w rytmie parzystym (14-krokowym).
5. Dawny typ rytmu to 13-15 („jednonożny”), potem rytm z podwójną zmianą – 13-14-15, uwzględniający pokonywanie płotków obydwoma kończynami.

Wnioski aplikacyjne

1. Specjalizacja w biegu na 400 m przez płotki rozpoczyna się w 18. roku życia. Wcześniej młodzi lekkoatleci zajmują się wszechstronnym przygotowaniem (także wielobożowym), dystansem 110 m przez płotki oraz (najczęściej) biegiem na 400 m. To wartości średnie. W indywidualnych przypadkach należy zastanowić się nad przyjętą koncepcją szkolenia.
2. Szybki (ściślej – za szybki) początek biegu często generuje znaczne obniżenie prędkości biegu na odcinku finiszowym.
3. Przygotowanie techniczne z uwzględnieniem prawej i lewej nogi atakującej umożliwi dwukrotną zmianę rytmu (13-14-15).

Piśmiennictwo

Iskra i wsp. 2012, 2015

Piśmiennictwo uzupełniające

Behm 2014-2021

Bozow 1982

Brejzer 1983

Brodani 2012

Carnes 2000

Covey 1978

Hegedüs 2011
Iskra 2008, 2012e
Lawson 1997
Le Masurier 1977
Quercetani 1964, 1990, 2009
Schiffer 1990, 1993, 2006

4.2. Strategia tempa biegu na 400 m przez płotki z uwzględnieniem charakterystyk czasowo-przestrzennych najlepszych zawodników świata

Janusz Iskra, Aleksander Matusiński, Mitsuo Otsuka, Kenny Guex
* - tytuł oryginalnej wersji: „Pacing strategy in men’s 400 m hurdles accounting for temporal and spatial characteristics of elite athletes. *Journal of Human Kinetics* 79, 1-13

Pytanie:

1. Jakie zmienne charakteryzują trzy strategie biegu na 400 m przez płotki - „szybkościową”, „techniczną” i „wytrzymałościową”?

Wprowadzenie

Bieg na 400 m przez płotki należy do najtrudniejszych konkurencji lekkoatletycznych i przez wielu specjalistów określany jest jako *“the man-killer event”* (Quercetani 2009). O końcowym wyniku w tym biegu płotkarskim decyduje suma skrajnych zdolności motorycznych (szybkość i siła v. wytrzymałość) i technika pokonywania płotków (= zdolności koordynacyjne). Nie bez znaczenia jest także specyficzna zdolność, określana jako *“hurdle rhythm”*, umożliwiająca wykorzystanie odpowiedniej (12-16) liczby kroków między płotkami z uwzględnieniem parametrów czasowych (Iskra 1991, 2012, Lindeman 1995, Boyd 2004, Hiserman 2011). Podstawową umiejętnością w biegu na 400 m przez płotki jest minimalna strata prędkości biegu pomimo znaczącego zmęczenia wysiłkiem o charakterze glikolitycznym (Goupta i wsp. 1999, Zouhal i wsp. 2010). Utrzymanie właściwego *“stride pattern”* (liczby kroków umożliwiającej minimalne straty pokonywania kolejnych odcinków między płotkami) to podstawowe zadanie procesu szkolenia. Selekcja do tej konkurencji lekkoatletycznej dotyczy głównie biegaczy szczupłych, o znaczących rezultatach w biegu na 400 m (bez płotków) – Iskra 2013.

W dotychczasowych analizach strategii w biegach lekkoatletycznych uwzględniano biegi płaskie na dystansach od 400 m do maratonu (Hannon i Thomas 2011, Renfree i wsp. 2014, Hanley i Hettinga 2018). Analiza tego zagadnienia ograniczała się do poszukiwań czasu pokonywania kolejnych odcinków oraz ich wzajemnych proporcji w stosunku do końcowego rezultatu. Analizy czasowe (*“temporal characteristics”*) w biegu na 400 m przez płotki są jednak niewystarczające, a często niemożliwe. Próby wyjaśniania elementów strategii biegu na 400 m przez płotki dotychczas ograniczały się do analizy tempa biegu (*“split times”*, *“touchdown times”*) oraz liczby kroków (*“stride pattern”*). Badania tego typu prowadzone są od lat 60. XX wieku i obejmują głównie grupy płotkarzy uczestniczących w imprezach rangi mistrzowskiej – źródła od Jonath (1962) do Iskra (2019) – patrz piśmiennictwo.

Materiał

W analizie zgromadzono dane 273 indywidualnych biegów na dystansie 400 m przez płotki mężczyzn rozgrywanych na imprezach rangi mistrzowskiej. W sumie analizowano wyłącznie finałowe biegi rozgrywane na największych zawodach lekkoatletycznych w latach 1968–2015. Uwzględniono: 12 finałów olimpijskich (1968–2012), 14 finałów mistrzostw świata (1983–2015), 12 finałów mistrzostw Europy (1971–2014) a także eliminacje lekkoatletów amerykańskich (*Olympic Trials*) przed Igrzyskami w 2008 roku. Wszystkie zawody rozgrywano na bieżni syntetycznej a końcowe wyniki notowano wg elektronicznego pomiaru czasu, z dokładnością 0,01 s. W sumie przeanalizowano międzyczasy biegów z 39 imprez z okresu 48 lat. Wszystkie dane dotyczyły finałowych biegów w których uczestniczyło 8 biegaczy.

Kryterium wykluczenia dotyczyło tych płotkarzy, którzy (nie widząc szans na spodziewany sukces) zrezygnowali ze skutecznego finiszu (wynik odbiegał od wartości 2SD). W niektórych, z barku danych, przypadkach uwzględniono wyłącznie dane z rywalizacji medalistów (miejsca 1–3). Szczegółowe dane podano w części metodologicznej

Szczegóły dotyczące poziomu sportowego, budowy ciała i poziomu przygotowania technicznego analizowanej grupy podano w tabeli 4.2.1.

Tabela 4.2.1.

Podstawowe parametry (n = 273)

Parametr*	J.m.	x	SD	Min-max	Skośność	Kurtoza
T400mH	s	48,64	0,75	46,78–50,46	0,26	-0,50
T1-10	s	37,29	0,62	35,66–39,17	0,21	-0,34
Age	years	26,13	3,72	18–37	0,48	-0,30
BH	cm	185,28	5,94	170–198	-0,24	-0,04
BW	kg	76,34	5,71	60–93	0,10	0,16
BMI	kg/m ²	22,22	1,10	19,33–25,31	-0,12	-0,14
PB400	s	45,94	0,82	44,05–48,04	-0,04	-0,23
TI	s	2,67	0,82	0,18–5,26	0,03	0,40
T0-1	s	6,00	0,13	5,60–6,42	-0,16	0,25
T1-4	s	11,44	0,29	10,76–12,70	0,50	0,89
T4-7	s	12,32	0,25	11,61–13,18	0,18	0,35
T7-10	s	13,54	0,31	12,84–14,40	0,27	-0,16
T10-F	s	5,34	0,29	4,70–6,80	1,20	3,14
%T1-4	%	23,52	0,50	22,02–25,26	0,15	0,71
%T4-7	%	25,30	0,37	24,14–26,60	0,05	0,29
%T7-10	%	27,82	0,43	26,69–29,53	0,20	0,32

* – opis parametrów podano w początkowej części pracy

Metody

A. Metody oceny parametrów czasowo-przestrzennych

Dane dotyczące analizy czasowo-przestrzennej pochodzą z wielu źródeł publikowanych w latach 1968–2017. Znaczną ilość danych uzyskano z kompilacyjnej pracy Behma (2014), w której autor zsumował kilkanaście prac zamieszczonych w latach 1995–2011 w *Révue de l'Amicale des Entraîneurs Français d'Athlétisme*. Podstawowe parametry budowy ciała (BH, BW) uzyskano na podstawie danych przedstawionych w corocznych publikacjach „*The Association of Track and Field Statisticians*” (ATFS) – „*The International Track and Field Annual*” z lat 1968–2019 (redaktor – Peter Matthews). Analizy parametrów czasowych dokonano różnymi metodami – część z nich została opisana w pracy Iskry i Coha (2011). Do najczęściej wykorzystywanych metod pomiaru „*touchdown times*” w biegu na 400 m przez płotki na imprezach rangi mistrzowskiej była metoda analizy filmowej z wykorzystaniem *video analysis software* (m.in. Dartfish Software). Rzetelność takich danych potwierdziły prace Greene i wsp. (2008) oraz O'Donoghue (2010), a ich przydatność naukową potwierdził m.in. Guex (2012). Analiza tzw. „*stride rhythm*” (*stride pattern*) dotyczyła wykorzystania metody kinematograficznej.

B. Podział dystansu

Podział dystansu 400 m przez płotki u wielu autorów uwzględnia różne jego aspekty (patrz wcześniejszy rozdział). Dla części badaczy ważna jest specyfika „matematyczno-geometryczna” (podział dystansu na dwa odcinki 200 m lub cztery odcinki 100 m – dwie proste i dwa wiraże). Dla innych najważniejsze są aspekty fizjologiczne (zmiany prędkości biegu na skutek wzrastającego zmęczenia) i biomechaniczne (zmiany sposobu pokonywania płotków z uwzględnieniem liczby kroków i zmiany nogi atakującej) – Iskra i Coh 2011, McGill 2007. Podziału dystansu na 3 podlegające analizie części dokonano na podstawie wcześniejszych prac związanych ze strategią biegu (patrz wcześniejsze rozdziały) oraz publikacji uwzględniających fizjologiczny (Gupta i wsp. 1999, Zauhal i wsp. 2010) i treningowy (Iskra 1991, 2012, 2013, Lindeman 1995, Boyd 2000, McFarlane 2004, Hiserman 2011) aspekt dystansu 400 m przez płotki.

Najbardziej racjonalnym, z naukowego i aplikacyjnego punktu oceny, jest podział na trzy równe (105 m) odcinki biegu między płotkami (1–4, 4–7, 7–10) z odrębnym traktowaniem odcinka startowego (45 m) oraz finiszowego (40 m). Podział ten pozwala na porównywanie kolejnych fragmentów biegu a także wykorzystywanie uzyskanych informacji z empirycznych analiz w procesie szkolenia płotkarzy (Iskra i wsp. 2006a, Iskra 2012a). Podział dystansu na fragmenty przedstawiono w tabeli 4.2.2.

Tabela 4.2.2.

Części dystansu 400 m przez płotki (dostosowane do celu tej części pracy)

Część dystansu (H)	Dystans (m)	Charakterystyka	Typ płotkarza
S-1	0-45 (45)	Przyspieszenie biegowe	
1-4	45-150 (105)	Szybkość płotkarska Po pokonaniu pierwszego płotka prędkość biegu stabilizuje się na pierwszej części pierwszej prostej (płotki 2-3) po czym w niewielkim stopniu obniża się	Szybkościowy (<i>Speed hurdler</i>)
4-7	150-255 (105)	Technika/Rytm płotkarski Płotkarze zmuszeni są do zmiany nogi atakującej, co przy biegu po wirażu jest znacznie utrudnione	(Techniczny) <i>Technique hurdler</i>
7-10	255-360 (105)	Wytrzymałość płotkarska Przy znacznym zmęczeniu o charakterze glikolitycznym płotkarz musi pokonać trzy płotki, przygotowując się do ostatecznego finiszu.	Wytrzymałościowy (<i>Endurance hurdler</i>)
10-F	360-400 (40)	Finisz; Wytrzymałość biegowa	

W analizie strategii biegu na 400m przez płotki przyjęto wskaźnik procentowy czasu biegu w trzech wyodrębnionych fragmentach - %T1-4, %T4-7 oraz %T7-10. W każdej części biegu przeprowadzono odrębne analizy, uwzględniając poziomy **fast** – szybkie pokonanie tej części biegu, **meddle** – umiarkowana prędkość biegu oraz **slow** – wolne pokonanie dystansu (tabela 4.2.3.).

Tabela 4.2.3.

Strategie płotkarzy w trzech częściach dystansu

Część biegu	Cała grupa (n = 273)		Płotkarze różnych strategii (%)		
	Czas (s)	%	„Fast” (n = 91)	„Meddle” (n = 91)	„Slow” (n = 91)
1-4H	11,44 (0,13)	23,52 (0,50)	22,02–23,31 ¹	23,32–23,72	23,73–25,26
4-7H	12,32 (0,25)	25,30 (0,37)	24,14–25,16 ²	25,16–25,45	25,46–26,60
7-10H	13,54 (0,31)	27,82 (0,43)	26,69–27,62 ³	27,63–27,97	27,97–29,53

¹speed hurdler, ²technique hurdler, ³endurance hurdler

Poszukiwania elementów decydujących o mistrzostwie sportowym w biegach przez płotki może opierać się na wyborze różnej liczby parametrów – od kilku do kilkudziesięciu (Iskra i Coh 2011, Guex 2012). W poszukiwaniu szczegółów dotyczących typów strategii w biegu na 400 m przez płotki wykorzystano 26 parametrów, podzielonych na główne (2), podstawowe (6), czasowe (11) oraz przestrzenne (7). Ich charakterystykę podano we wcześniejszych fragmentach książki.

C. Analiza statystyczna

W analizie uwzględniono podstawowe parametry statystyczne (\bar{x} , SD, min-max, a także wskaźniki skośności i kurtozy). Do wykazania związków między wybranymi zmiennymi wykorzystano analizę korelacji prostej Pearsona. Różnice między grupami płotkarzy oceniano na podstawie analizy wariancji (ANOVA), z późniejszym testem HSD Tuckey'a ($p < 0,05$, $p < 0,01$ and $p < 0,001$).

Wyniki

Podstawowe wyniki i różnice między biegaczami w trzech częściach biegu podano w kolejnych tabelach. Wyniki analizy korelacji podano w tabeli 4.2.4.

Tabela 4.2.4.

Analiza korelacji trzech strategii biegu z wybranymi parametrami biegu na 400 m przez płotki

Parametr	Strategia		
	%T1-4	%T4-7	%T7-10
T400H	NS	NS	-.12*
T1-10	NS	-.23***	NS
Age	.15*	NS	NS
BH	.18**	NS	-.23***
BW	.17**	NS	-.17**
BMI	NS	NS	NS
PB400	-.18**	NS	.13*
TI	.26***	NS	-.24***
T0-1	-.14*	NS	.21***
T1-4	-.79***	-.22***	.48***
T4-7	-.13*	-.67***	.18**
T7-10	.50***	.28***	-.75***
T10-F	.51***	.54***	-.28***
T4-7-T1-4	.76***	-.41***	-.36***
T7-10-T4-7	.58***	.80***	-.87***
T7-10-T1-4	.92***	.36***	-.90***
%T1-4	-	-.28***	.66***
%T4-7	-.27***	-	.39***
%T7-10	.66***	.39***	-
N1-10	-.24***	NS	.24***

N1-4	-.37***	NS	.33***
N4-7	-.24***	NS	.27***
N7-10	NS	NS	NS
N4-7-N1-4	.24***	NS	NS
N7-10-N4-7	.26***	.14*	-.29***
N7-10-N1-4	.34***	NS	-.29***
Typ płotkarza	„ <i>Speed</i> ”	„ <i>Technique</i> ”	„ <i>Endurance</i> ”

Pierwsza część dystansu (%T1-4)

Wyniki analizy korelacji (tabela 2.4.4.) wskazują na szybszy początek biegu płotkarzy starszych ($p < 0,05$), wyższych i cięższych ($p < 0,01$), z dobrym wynikiem w biegu na 400 m ($p < 0,01$) oraz słabszych technicznie (IT - $p < 0,05$). Szybsze rozpoczęcie biegu spowodowało zdecydowany spadek prędkości biegu po 7. płotku [$r(T7-10) = 0,50$, $r(10-F) = 0,51$; $p < 0,001$]. Straty prędkości biegu były znaczne w końcowej jego części [$r(T7-10-T1-4) = 0,92$; $p < 0,001$]. Płotkarze preferujący szybki początek biegu *speed*” *hurdlers*) wybierają rytm 13-krokowy na początku biegu, z przejściem w bieg na 15 kroków w dalszej części dystansu. Największe zmiany *stride pattern* (N7-10-N1-4) dotyczą właśnie tej grupy. Przyjęcie *speed strategy* powoduje zwiększenie czasu pokonania ostatniego fragmentu (od 7. płotka) dystansu – tabela 4.2.5.

Tabela 4.2.5.

Analiza wariancji (ANOVA) strategii pierwszej części biegu na 400 m przez płotki (%T1-4, „*speed*”)

Zmienna	Grupa ($x \pm SD$)			F	ANOVA		
	A („ <i>best</i> ”)	B („ <i>average</i> ”)	C („ <i>worst</i> ”)		A-B	B-C	A-C
1. Zmienne główne							
T400H (s)	48,69 (0,74)	48,67 (0,78)	48,55 (0,72)	1,73 ^{NS}			
T1-10 (s)	37,20 (0,55)	37,34 (0,66)	37,34 (0,65)	1,37 ^{NS}			
2. Zmienne podstawowe							
Age (year)	26,50(3,85)	26,72 (3,85)	25,20 (3,31)	4,26*			*
BH (cm)	185,42 (6,11)	185,92(5,62)	184,51 (6,07)	1,83 ^{NS}			
BW (kg)	76,82 (5,68)	76,84 (5,59)	75,36 (5,81)	1,67 ^{NS}			
BMI (kg/m ²)	22,33 (1,09)	22,22 (1,16)	22,12 (1,03)	0,43 ^{NS}			
PB400m (s)	45,76 (0,83)	45,95 (0,85)	46,13 (0,75)	4,37*			*
TI (s)	2,93 (0,78)	2,72 (0,85)	2,42 (0,75)	10,21***		**	***
3. Zmienne czasowe (s)							
T0-1	5,97 (0,12)	6,01 (0,13)	6,00 (0,13)	5,155**	**	*	
T1-4	11,21 (0,20)	11,44 (0,19)	11,68 (0,25)	101,04***	***	***	***
T4-7	12,26 (0,20)	12,36 (0,27)	12,33 (0,27)	3,249*	*		
T7-10	13,71 (0,27)	13,53 (0,28)	13,36 (0,28)	34,209***	***	***	***
T10-F	5,54 (0,29)	5,33 (0,24)	5,20 (0,22)	38,671***	***	***	***
T4-7-T1-4	1,05 (0,18)	0,92 (0,17)	0,65 (0,23)	99,294***	***	***	***
T7-10-T4-7	1,45 (0,28)	1,17 (0,28)	1,03 (0,29)	47,599***	***	**	***
T7-10-T1-4	2,50 (0,28)	2,09 (0,19)	1,68 (0,27)	231,77***	***	***	***
T1-4%	23,00 (0,29)	23,50 (0,12)	24,05 (0,32)	365,65***	***	***	***
T4-7%	25,15 (0,33)	25,38 (0,37)	25,36 (0,37)	9,576***	***	***	
T7-10%	28,13 (0,39)	27,80 (0,32)	27,53 (0,36)	68,322***	***	***	

4. Zmienne przestrzenne (liczba kroków)							
N1-10	123,77 (4,24)	123,12 (4,3)	125,43 (5,44)	5,870**		*	**
N1-4	39,33 (1,38)	39,65 (1,52)	40,50 (2,14)	12,167***		**	***
N4-7	40,71 (1,56)	40,48 (1,57)	41,29 (2,01)	5,850**			**
N7-10	43,73 (1,80)	43,07 (1,73)	43,64 (1,83)	2,756NS			
N4-7-N1-4	1,38 (1,04)	0,83 (0,96)	0,79 (0,92)	10,789***	***		***
N7-10-N4-7	3,02 (1,18)	2,59 (1,26)	2,35 (1,49)	5,810**			**
N7-10-N1-4	4,40 (1,49)	3,42 (1,64)	3,14 (1,84)	13,830***	***		***

*** - $p < 0,001$, ** - $p < 0,01$, * - $p < 0,05$, NS -

Dru ga część dystansu (%T4-7)

Zawodnicy „*technique strategy*” to grupa płotkarzy wyróżniający się czasem biegu wyłącznie między płotkami – $r(T1-10) = 0,23$; $p < 0,01$). Budowa ciała i ustalony *stride pattern* nie wyróżnia tej grupy od pozostałych biegaczy. Najszybsze pokonanie tzw. „wejścia w wiraż” (T4-7) to przejaw dobrego przygotowania technicznego, uwzględniającego m.in. zmianę liczby kroków w kolejnych odległościach między płotkami. Dla biegaczy tej grupy ważniejsza jest pierwsza część biegu [$r(T1-4) = -0,22$; $r(\%T1-4) = -0,28$; $p < 0,001$]. W końcowej (T7-10) prędkość biegu zdecydowanie obniża się – tabela 3. Niekorzystne zmiany dotyczą głównie trzeciej części biegu (T7-10, %T7-10 oraz T7-10-T4-7) – tabela 4.2.6. W grupie *technique hurdlers* przyjęty *stride pattern* nie ma znaczenia.

Tabela 4.2.6.

Analiza wariancji (ANOVA) strategii drugiej części biegu na 400 m przez płotki (%T4-7, „*technique*”)

Zmienna	Grupa ($\bar{x} \pm SD$)			F	ANOVA		
	A („ <i>best</i> ”)	B („ <i>average</i> ”)	C („ <i>worst</i> ”)		A-B	B-C	A-C
1. Zmienne główne							
T400H (s)	48,70 (0,74)	48,61 (0,73)	48,61 (0,76)	0,110 ^{NS}			
T1-10 (s)	37,16 (0,60)	37,28 (0,59)	37,44 (0,64)	6,437**			**
2. Zmienne podstawowe							
Age (year)	26,26 (3,21)	26,35 (4,01)	25,79 (3,90)	0,808 ^{NS}			
BH (cm)	186,00 (3,21)	184,48 (6,3)	185,36 (5,86)	0,969 ^{NS}			
BW (kg)	76,37 (5,21)	75,91 (6,05)	76,71 (5,86)	0,260 ^{NS}			
BMI (kg/m ²)	22,07 (1,20)	22,28 (1,01)	22,31 (1,06)	1,102 ^{NS}			
PB400m (s)	45,88 (0,84)	46,03 (0,78)	45,91 (0,85)	0,711 ^{NS}			
TI (s)	2,78 (0,82)	2,58 (0,79)	2,70 (0,84)	1,305 ^{NS}			
3. Parametry czasowe (s)							
T0-1	6,02 (0,12)	5,98 (0,13)	5,99 (0,13)	1,618 ^{NS}			
T1-4	11,37 (0,26)	11,43 (0,30)	11,53 (0,29)	8,041***			***
T4-7	12,14 (0,20)	12,31 (0,20)	12,50 (0,21)	69,336***	***	***	***
T7-10	13,65 (0,31)	13,54 (0,31)	13,42 (0,28)	10,296***		*	***
T10-F	5,52 (0,34)	5,35 (0,20)	5,17 (0,18)	41,376***	***	***	***
T4-7-T1-4	0,77 (0,26)	0,91 (0,25)	0,97 (0,23)	14,466***	*	*	***
T7-10-T4-7	1,51 (0,23)	1,23 (0,23)	0,92 (0,22)	145,45***	***	***	***
T7-10-T1-4	2,28 (0,39)	2,14 (0,42)	1,89 (0,34)	20,733***	***	***	***
T1-4%	23,34 (0,50)	23,52 (0,51)	23,70 (0,430)	12,683***	*	*	***
T4-7%	24,90 (0,20)	25,30 (0,09)	25,70 (0,21)	469,78***	***	***	***
T7-10%	28,01 (0,41)	27,84 (0,44)	27,60 (0,35)	22,863***	*	***	***

4. Parametry przestrzenne (liczba kroków)							
N1-10	123,49 (4,45)	124,89 (4,8)	124,05 (4,97)	1,908 ^{NS}			
N1-4	39,56 (1,54)	40,08 (1,89)	39,85 (1,86)	1,954 ^{NS}			
N4-7	40,53 (1,58)	41,03 (1,83)	40,93 (1,81)	2,223 ^{NS}			
N7-10	43,40 (1,92)	43,78 (1,66)	43,27 (1,83)	1,763 ^{NS}			
N4-7-N1-4	0,97 (1,00)	0,95 (1,07)	1,08 (0,96)	0,559 ^{NS}			
N7-10-N4-7	2,87 (3,37)	2,75 (1,23)	2,34 (1,38)	3,312*			*
N7-10-N1-4	3,84 (1,75)	3,70 (1,65)	3,42 (1,84)	0,944 ^{NS}			

Trzecia część dystansu (%T7-10)

Najlepszy (także względnie) czas odcinka biegowego między 7. a 10. płotkiem dotyczy biegaczy najwyższego poziomu (czas: 48,49 ± 0,77 s, r(400H = 0,12; p < 0,05). Zawodnicy *endurance strategy* są niżsi od pozostałych płotkarzy (r(BH) = -0,23; p < 0,001). W stosunku do innych grup („*speed*” i „*technique*” *strategy*) ta grupa traci w pierwszych częściach dystansu (p < 0,01-0,001), natomiast wyraźnie zyskuje na odcinku finiszowym (T10-F). *Endurance hurdlers* we wszystkich częściach biegu mają najniższe straty prędkości biegu [r(T7-10-T1-4) = -0,90; p < 0,001] – tabela 4.2.6. Różnice między kolejnymi częściami biegu nie przekraczają 1,7 s (tabela 7). Najlepsi płotkarze preferują niewielkie zmiany *stride pattern* do końca dystansu. Pomimo rozpoczęcia biegu w większym rytmie kroków (N1-4 oraz N4-7), w końcowej części biegu wykazują taką samą liczbę kroków jak inne grupy płotkarzy (N7-10; p = NS) – tabele 4.2.3. i 4.2.7.

Tabela 4.2.7.

Analiza wariancji (ANOVA) strategii trzeciej części biegu na 400 m przez płotki (%T7-10, *endurance*)

Zmienna	Grupa (x±SD)			F	ANOVA		
	A („best”)	B („average”)	C („worst”)		A-B	B-C	A-C
1. Parametry główne							
T400H (s)	48,49 (0,77)	48,65 (0,71)	48,77 (0,75)	3,528*			*
T1-10 (s)	37,19 (0,61)	37,33 (0,63)	37,35 (0,62)	2,477 ^{NS}			
2. Parametry podstawowe							
Age (year)	26,37 (3,79)	25,92 (3,54)	26,10 (3,84)	0,568 ^{NS}			
BH (cm)	183,61	185,33(6,25)	186,88 (5,21)	6,563**			**
BW (kg)	(5,92)	76,07 (6,04)	77,71 (5,10)	4,105*			*
BMI (kg/m ²)	75,21 (5,72)	22,13 (1,16)	22,24 (1,09)	0,599 ^{NS}			
PB400m (s)	22,29 (1,06)	46,02 (0,90)	45,85 (0,86)	1,010 ^{NS}			
TI (s)	45,96 (0,68)	2,63 (0,82)	2,92 (0,84)	6,068**			**
	2,53 (0,77)						

3. Parametry czasowe (s)							
T0-1	6,03 (0,13)	6,00 (0,12)	5,97 (0,12)	4,139*			**
T1-4	11,57 (0,27)	11,45 (0,25)	11,32 (0,30)	19,137***	*	**	***
T4-7	12,34 (0,27)	12,34 (0,23)	12,25 (0,25)	2,408 ^{NS}			
T7-10	13,27 (0,22)	13,54 (0,20)	13,81 (0,25)	123,59***	***	***	***
T10-F	5,28 (0,29)	5,32 (0,29)	5,44 (0,27)	7,141***		*	***
T4-7-T1-4	0,77 (0,26)	0,89 (0,24)	0,93 (0,26)	12,216***	**		***
T7-10-T4-7	0,93 (0,24)	1,20 (0,18)	1,56 (0,22)	186,44***	***	***	***
T7-10-T1-4	1,70 (0,29)	2,09 (0,20)	2,49 (0,30)	195,17***	***	***	***
T1-4%	23,84 (0,45)	23,53 (0,37)	23,20 (0,46)	55,317***	***	***	***
T4-7%	25,43 (0,39)	25,35 (0,33)	25,12 (0,30)	18,122***		***	***
T7-10%	27,35 (0,21)	27,81 (0,10)	28,29 (0,25)	474,53***	***	***	***
4. Parametry przestrzenne (liczba kroków)							
N1-10	125,41 (5,78)	123,79(4,57)	123,20 (3,49)	5,071***	*	**	
N1-4	40,51 (2,27)	39,66 (1,61)	39,32 (1,04)	11,460***	**	***	
N4-7	41,35 (2,06)	40,68 (1,72)	40,43 (1,26)	6,000**	*	***	
N7-10	43,55 (1,98)	43,45 (1,78)	43,45 (1,69)	0,114 ^{NS}			
N4-7-N1-4	0,84 (0,91)	1,02 (1,18)	1,11 (0,91)	2,635 ^{NS}			
N7-10-N4-7	2,20 (1,49)	2,77 (1,14)	3,02 (1,26)	8,128***	**	***	
N7-10-N1-4	3,04 (1,88)	3,79 (1,62)	4,09 (1,57)	9,947***	**	***	

Dyskusja

Tradycje poszukiwań optymalnej (rozumianej jako najbardziej efektywnej w kontekście końcowego rezultatu) strategii biegu przez płotki mają początek w latach 60. XX w. W pracy Coopera (wcześniej srebrnego medalisty Igrzysk w 1964 r.) autor wyodrębnia tzw. *coasts* (momenty stabilizacji tempa biegu) oraz *kicks* (gwałtowne przyspieszenia) jako elementy decydujące w walce o zwycięstwo (Cooper 1966). Po wprowadzeniu bieźni syntetycznych problem podstawowych elementów struktury czasowej (*split times*) oraz struktury przestrzennej (*stride pattern*) stał się interesujący pod względem analizy naukowej (Jonath 1962, Hemery i Houdson 1969, Letzelter 1973).

Historia rywalizacji w biegu na 400m przez płotki wskazuje, że wśród wielu taktyk biegu trudno wyróżnić najbardziej efektywną. Finałowe biegi w trakcie igrzysk olimpijskich czy mistrzostwa świata dowodzą, że o zwycięstwie decydują różne strategie – od dyktowania wysokiego tempa biegu od startu (*speed hurdler*) poprzez strategie zrównoważonych prędkości (*technique hurdler*) aż po wyczekiwanie na finiszowy odcinek (*endurance hurdler*) – Quercetani 2009, Wallechinsky i Loucky 2012, Behm 2016.

Wśród dotychczasowych teorii dotyczących biegów na krótkie dystanse rozważano różne jej typy, m.in. strategii totalnej, równego tempa czy zmiennej (Hannon i Thomas 2011, Lipińska 2015). W kontekście biegu na 400 m przez płotki żadne z tych teoretycznych rozwiązań nie jest możliwe do wykorzystania. Badania biomechaniczne (akcelerometryczne) wykazują, że bez względu na poziom zaawansowania, bieg na 400 m przez płotki ma 3 etapy: wzrostu prędkości biegu (do 2–3 płotka), względnego jej utrzymania (2–4 płotek) i stałą, systematyczną utratę prędkości (od 3–4. do ostatniego płotka) – Yasui i wsp. 1996, Ditroilo i Marini 2001. Ta etapowość zmian czasu

pokonywania kolejnych odcinków uzupełnia zmiany struktury przestrzennej (liczby kroków) w kolejnych „jednostkach rytmicznych” (=35 m biegu między płótkami).

Większość prac związanych z analizą (czasową i przestrzenną) biegu na 400 m przez płotki dotyczyła całościowego ujęcia problemu, bez analizy typów i części biegu (Yasui i wsp. 1996, Lopez del Amo i wsp. 2012, Otsuka i Isaka 2019). W pracy zdecydowano się na podział dystansu na 3 części – 1-3H, 4-7H oraz 7-10H (patrz – „Metody”). Podział ten poparty był wcześniejszymi analizami biochemicznymi, biomechanicznymi oraz opracowaniami trenerów.

Analizy korelacji i wariancji wykazały nie tylko na duże zróżnicowanie strategii biegu ale także na liczne jej uwarunkowania. Przyjęcia strategii biegu w szybkim tempie od początku ma potwierdzenie w przypadku biegu zawodników preferujących tzw. *double cutdown*, czyli zmiany rytmu z 13 od razu na 15 kroków (Boyd 2000, Iskra 2008, Hiserman 2011). Szybsze rozpoczęcia biegu wpływa na znaczne straty prędkości biegu w dalszych jego częściach (T7-10-T1-4 = 2,50 s dla grupy *speed* i tylko 1,68 s dla grupy. Główna przyczyna leży m.in. w konieczności gwałtownego skrócenia kroku przy zmianie „rytmu” z 13 n 15. Taki styl biegania był popularny w latach 60. i 70. XX w. (Hemery i Houtson 1969, Letzelter 1973, Le Masurier 1978, Quercetani 2009).

Wyniki oceny skuteczności biegu w oparciu o trzy fragmenty biegu wskazują na znaczne różnice w przyjętym planie biegu. Szybsza część wstępna (1-4H) pozwala jeszcze skutecznie kontynuować środkową część dystansu, jednakże nieodzowną konsekwencją takiego „planu biegu” jest gwałtowne załamanie prędkości w końcowej jej części. Trener tak pisze o tej sytuacji – *you're using up too much energy in the early part of the race...the end stages of the race will be dramatic* W dowolnym, trenerskim tłumaczeniu – (“za szybkie tempo biegu w pierwszej fazie biegu koniec dystansu może być dramatyczny” (McGill 2007, s. 1)

W grupie płotkarzy preferujących środkową część biegu (*technique*) są płotkarze wysocy i szczupli, biegający tą część dystansu długim krokiem. Ten fragment biegu bywa w wielu przypadkach zdradliwy, gdyż prędkość biegu zawsze obniża się, a niektórzy biegacze wykorzystując bieg po prostej i (czasami) sprzyjający wiatr, nadmiernie eksploatują organizm (Queen 2010). Być może w błędnym pojmowaniu znaczenia tego odcinka biegu jest powszechny pogląd trenerów. W procesie szkolenia tzw. „wytrzymałość rytmowa krótka” (biegi do 150–200 m) uważana jest za stosunkowo prosty akcent treningu (McFarlane 2004, Iskra 2013).

Dane z badań biochemicznych wskazują, że dystans 400 m hurdles to typowy bieg o charakterze glikolitycznym. Po 300 m stężenie LA (laktatu, mleczanu) wynosi ponad 13 mmol/l, co utrudnia kontynuowanie wysiłku w trzeciej (7-10H) części biegu (Kłapcińska i wsp. 2001).

Wysokie wartości powysiłkowego stężenia mleczanu (powyżej 15 mmol/l) w biegach na 400/400 m przez płotki stwierdzono także w pracach Gupta i wsp. (1999) i Zouchal i wsp. (2010). W tej pracy preferowana strategia wytrzymałościowa nawiązuje właśnie do podstaw fizjologiczno-biochemicznych. Właśnie końcowy odcinek jest decydujący w rozkładzie tempa na dystansie 400 m H. Najmniejsze straty prędkości biegu na tym odcinku mogą być podstawą do osiągania sukcesów.

Większość badaczy upraszcza problem strategii biegu na 400m przez płotki do dwóch równych (matematycznie) części (pierwsze 200 + drugie 200 m), z akcentem na różnicę czasu między nimi (McFarlane 2004, Hiserman 2011). Według klasycznych wzorów ta różnica powinna być najmniejsza (dla najlepszych zawodników ok. 2,5 s). Jednakże na tym poziomie mała różnica na skutek wolnej pierwszej połowy nie jest rozwiązaniem w pojedynkach na wysokim poziomie sportowym. Dowodzą tego liczne badania, m.in. Guex (2012).

Poziom przygotowania technicznego mierzony standardowym wskaźnikiem (IT) nie zawsze zawiera dostateczną ilość informacji. W grupie *technique* takiego (IT) związku nie zaobserwowano, jednakże ta grupa ma istotnie lepszy czas wyłącznie w biegu między płotkami (T1-10; p 0,01) – tabela 5.

Pytanie dotyczące wyników analizy *stride pattern* dla różnych typów strategii w znacznym stopniu znajduje odpowiedź po prześledzeniu różnych strategii biegu. We wcześniejszych pracach nie stwierdzono zdecydowanych preferencji w stosowaniu konkretnego *stride pattern* (Iskra 2008). Wyniki przeprowadzonych w pracy analiz wskazują jednak na minimalne zmiany liczby kroków w końcowej części dystansu (tabla 6).

Konieczność stosowania 13-krokowego *stride pattern* widoczna jest wśród najlepszych płotkarzy 2019 roku (Kerstin Warholm, Rai Benjamin, Abderahman Samba). W grupie plotkarzy wysokich (187–191) o szczupłej budowie ciała (75–78 kg) dominuje bieg 13-krokowy do końca lub do ostatniej prostej (Matthews 2019).

Dane zawarte w tabeli 7 potwierdzają wcześniejsze spostrzeżenia, jednakże zauważa się indywidualne rozwiązania problemu strategii biegu. Wyodrębnienie trzech części dystansu i przypisanie im trzech strategii pozwala na analizę 9 indywidualnych planów biegu. W tabeli 4.2.8. podano taką charakterystykę, uwzględniając (dla przykładu) 10. najlepszych i 10. najslabszych plotkarzy analizowanej grupy.

Tabela 4.2.8.

Indywidualne strategie biegu na 400 m przez płotki (wybór)

Najlepsi płotkarze				Najłabsi płotkarze			
400 m H (s)	Część biegu			400 m H (s)	Część biegu		
	1-4H	4-7H	7-10H		1-4H	4-7H	7-10H
46,78	M	M	F	50,13	M	F	M
47,18	S	F	F	50,14	F	M	S
47,19	M	M	F	50,18	F	F	S
47,23	M	M	F	50,20	S	S	M
47,25	M	M	F	50,25	F	F	S
47,25	F	M	M	50,28	S	M	S
47,30	S	M	F	50,30	M	S	F
47,43	S	M	F	50,31	F	M	M
47,46	M	F	S	50,45	S	S	F
47,48	M	M	S	50,46	M	S	S

Strategia: F – „fast”, M – „meddle”, S – „slow”

Wnioski

1. W ocenie sposobu rozłożenia tempa biegu (struktura czasowa) oraz tzw. *stride pattern* na dystansie 400 m przez płotki można wyróżnić 3 strategie: *speed*, *technique* i *endurance*, uwzględniające różne części dystansu.
2. Każda ze strategii ma swoich przedstawicieli w grupach płotkarzy najwyższego poziomu światowego, a jej wybór zależy od predyspozycji motorycznych, przygotowania technicznego oraz budowy ciała.
3. Za szybki początek biegu zdecydowanie obniża płynność pokonywania dystansu i wpływa na obniżenie efektywności w trzeciej jego części. Ten sposób biegu preferują płotkarze niskiego wzrostu, biegający „rytmem” 14-15 kroków.
4. Strategia szybkiego biegu w środkowej części dystansu znacznie zmniejsza prędkość biegu na odcinku finiszu (po ostatnim płotku).
5. Strategia wytrzymałościowa dotyczy najlepszych zawodników. Różnice czasu poszczególnych części biegu są najmniejsze. Biegacze z tej grupy pokonują odległości między płotkami 13-14 krokami.
6. Ocena różnych „*pace strategies*” w trzech częściach dystansu w grupie najlepszych płotkarzy świata musi być dokonywana indywidualnie.

Wnioski aplikacyjne

1. Podział dystansu na trzy, umowne części (*speed*, *technique*, „*endurance*”) jest wskazówką dla trenerów do organizacji trzech grup środków treningowych o charakterze specjalnym.
2. Wybór priorytetów treningowych powinien uwzględniać indywidualne predyspozycje płotkarzy.

3. Każdy z fragmentów biegu determinuje odcinki poprzednie i następne. Każda ze strategii ma swoje dodatnie i ujemne konsekwencje.
4. Wybór strategii zawsze ma charakter indywidualny. Trener musi dostosować ją do budowy ciała (1), zdolności wysiłkowych (2), umiejętności technicznych (3) i, często pomijanych, zdolności do organizacji „rytmu kroków” (4).

Piśmiennictwo – pełna identyfikacja w rozdziale końcowym

Behm 2014.
Boyd 2000.
Canova 1979.
Cooper 1966.
Ditroilo i Marini 2000.
Glad i Brüggemann 1990.
Graubner i Nixdorf 2011.
Greene i wsp. 2008.
Guex 2012.
Gupta i wsp. 1999.
Hanley i Hettinga 2018.
Hannon i Thomas 2011.
Hemery i Houdson 1969.
Hiserman 2011.
Hommel i Koszewski 1999.
Iskra 1991a, 2008a, 2012ab, 2013a
Iskra i Čoh 2011.
Iskra i Walaszczyk 2007.
Iskra i wsp. 2006a.
Jonath 1962.
Kłapcińska i wsp. 2001.
Le Masurier 1977.
Letzelter 1973.
Lindeman 1995.
Lipińska 2015.
Lopez del Amo i wsp. 2012.
Matthews 2019.
McFarlane 2004.
McGill 2006, 2020.
Moravec, i Susanka, 1986.
Moravec i wsp. 1990.
Moriorka 1997.
Morita i Igarashi 1992.
O'Donoghue 2010.
Otsuka i Isaka 2019.
Quercetani 2009.
Quinn 2010.

Renfree i wsp. 2014.
Susanka i wsp. 1988.
Wallechinsky i Loucky 2012.
Yasui i wsp. 1996.
Zauhal i wsp. 2010.

4.3. Poziom sportowy a strategia biegu na 400 m przez płotki mężczyzn

Pytanie:

1. Czy poziom sportowy w grupie najlepszych zawodników świata determinuje przyjętą czasowo-przestrzenną strategię biegu?

Wprowadzenie

W toku rozwoju mistrzostwa sportowego zmienia się koncepcja czasowej i strukturalnej (przestrzennej) strategii biegu. Po osiągnięciu wysokiego stopnia zaawansowania płotkarze wykazują względną (zależną m.in. od etapu przygotowań, warunków atmosferycznych czy aktualnych predyspozycji) stabilizację sposobu prowadzenia rywalizacji na dystansie 400 m.

Zawodnicy uczestniczący w finałach najważniejszych imprez światowych w ostatnich 50 latach reprezentowali wysoki poziom, jednakże w szczegółowych analizach różnym czasem pokonywania dystansu. Właśnie ten problem – wykazania różnic strategii biegu w grupie „dominatorów” tego dystansu, płotkarzy ze środkowych miejsc finałowych i zawodników zamykających stawkę najlepszych płotkarzy – postanowiono przeanalizować w tej części książki.

Materiał

W analizie uwzględniono wyniki 295 indywidualnych biegów na dystansie 400 m przez płotki mężczyzn rozgrywanych na imprezach rangi mistrzowskiej (igrzyska olimpijskie, mistrzostwa świata, mistrzostwa Europy) w latach 1968–2017. W sumie w analizie uwzględniono 125 biegaczy. Wszystkie wyniki podzielono na 3 grupy, zależne od poziomu zaawansowania:

Grupa A (n = 57) – wyniki poniżej 48 s ($\bar{x} \pm SD = 47,65 \pm 0,25$ s; min-max – 46,78-47,99 s),

Grupa B (n = 133) – wyniki pomiędzy 48,00-48,99 s ($\bar{x} \pm SD = 48,45 \pm 0,28$ s),

Grupa C (n = 95) – wyniki powyżej 49 s ($\bar{x} \pm SD = 49,48 \pm 0,40$ s; min-max – 49,01-50,56 s).

Metoda

Przedstawiono podstawowe parametry statystyczne ($\bar{x} \pm SD$). Różnice międzygrupowe oceniano z wykorzystaniem analizy wariancji (ANOVA) z późniejszym testem post-hoc Tukey'a.

Wyniki

Różnica wyników końcowych (400 m H) między grupami była znaczna ($p \leq 0,001$). Podobne (aczkolwiek mniejsze) różnice dotyczyły czasu dystansu między płótkami (T1-10) – odpowiednio $F=626,95/332,32$ – tabela 4.3.1.

Tabela 4.3.1.
Różnice wybranych parametrów w grupach płotkarzy o różnym poziomie zaawansowania

Nr	Zmienna	Grupa		ANOVA		Tuckey test			r
		A (<48,00 s)	B (48-49 s)	F	p	A-B	B-C	A-C	
1	T400mH (s)	47,65 ± 0,25	48,45 ± 0,28	626,95	***	***	***	***	1,00
2	T1-10H (s)	36,52 ± 0,25	37,16 ± 0,33	332,32	***	***	***	***	0,91
9	Miejsce	1,86±1,01	3,96±1,85	84,40	***	***	***	***	0,61
17	Wysokość (cm)	184,84±5,46	185,63±6,17	0,35	NS	-	-	-	0,02
18	Masa ciała (cm)	76,84±4,74	77,03±5,72	2,74	NS	-	-	-	-0,11
19	BMI	22,49±1,06	22,34±1,05	6,96	***	-	**	**	-0,19
14	Wiek (lata)	26,70±3,85	26,20±3,72	3,45	*	-	-	*	-0,16
	Wiek 1/400H (lata)	19,13±2,86	18,89±2,33	0,13	NS	-	-	-	-0,01
	Wynik 1/400H (s)	51,59±1,94	51,79±1,87	0,48	NS	-	-	-	0,06
10	Tor	4,35±1,79	4,91±2,17	1,51	NS	-	-	-	-0,05
29	T400m (s)*	45,46±0,76	45,82±0,78	30,26	***	*	***	***	0,46
31	T1 (s)*	2,01±0,67	2,09±0,66	40,80	NS	-	-	-	0,11
52	RT (ms)	191,26±56,7	188,64±41,9	0,03	NS	-	NS	NS	0,36
53	t0-1 (s)	5,95±0,11	5,98±0,12	14,60	***	-	***	***	0,41
54	t1-2	3,69±0,09	3,75±0,11	18,84	***	*	***	***	0,42
55	t2-3	3,73±0,08	3,78±0,10	27,02	***	*	***	***	0,46
56	t3-4	3,82±0,12	3,87±0,10	26,12	***	*	***	***	0,46
57	t4-5	3,88±0,10	3,96±0,10	50,21	***	***	***	***	0,55
58	t5-6	4,01±0,08	4,09±0,11	33,90	***	***	***	***	0,52
59	t6-7	4,16±0,09	4,22±0,09	41,60	***	***	***	***	0,53
60	t7-8	4,26±0,10	4,35±0,08	73,11	***	***	***	***	0,61
61	t8-9	4,42±0,09	4,48±0,09	64,99	***	***	***	***	0,62
62	t9-10	4,56±0,11	4,63±0,14	46,90	***	***	***	***	0,57
63	t10-F	5,19±0,16	5,31±0,26	25,00	***	***	***	***	0,45
90	tbest (s)	3,67±0,07	3,71±0,09	25,60	***	***	***	***	0,44
93	tworst	4,56±0,11	4,63±0,14	50,41	***	***	***	***	0,59
100	T1-3 (s)	7,42±0,15	7,53±0,19	31,35	***	***	***	***	0,48
101	T3-5	7,70±0,17	7,99±0,19	48,25	***	***	***	***	0,56
102	T5-7	8,17±0,14	8,32±0,16	56,45	***	***	***	***	0,63
106	T6-8	8,42±0,14	8,57±0,13	94,28	***	***	***	***	0,68

107	T8-10	8,98±0,18	9,11±0,20	9,36±0,29	74,05	***	***	***	***	***	***	0,67
116	T1-4	11,24±0,20	11,40±0,24	11,61±0,29	41,78	***	***	***	***	***	***	0,54
117	T4-7	12,05±0,18	12,28±0,20	12,49±0,20	89,74	***	***	***	***	***	***	0,71
118	T7-10	13,24±0,22	13,46±0,23	13,80±0,24	112,73	***	***	***	***	***	***	0,74
177	T0-2	9,64±0,17	9,72±0,20	9,85±0,20	24,41	***	*	***	***	***	***	0,46
179	T2-5	11,43±0,21	11,85±0,24	11,85±0,26	54,88	***	***	***	***	***	***	0,58
120	T5-8	12,43±0,18	12,66±0,19	12,90±0,21	102,87	***	***	***	***	***	***	0,73
206	T8-F	13,54±0,28	13,75±0,33	14,12±0,31	66,54	***	***	***	***	***	***	0,65
77	%T0-1	12,48±0,22	12,33±0,25	12,22±0,24	21,00	***	***	***	***	***	***	-0,37
126	%T1-4	23,58±0,43	23,53±0,49	23,48±0,56	0,80	NS	-	-	-	-	-	-0,08
127	%T4-7	25,28±0,37	25,35±0,38	25,25±0,35	2,17	NS	-	-	-	-	-	-0,05
128	%T7-10	27,79±0,40	27,78±0,44	27,89±0,44	1,99	NS	-	-	-	-	-	0,11
87	%T10-F	10,89±0,32	10,97±0,53	10,86±1,17	0,30	NS	-	-	-	-	-	0,18
228	t _{worst} [†] best	0,87±0,19	0,92±0,20	0,97±0,21	4,42	**	-	-	-	-	*	0,27
234	T4-7-T1-4	0,81±0,26	0,88±0,26	0,88±0,26	1,57	NS	-	-	-	-	-	0,09
235	T7-10-T1-4	1,19±0,31	1,18±0,33	1,31±0,32	4,54	**	-	-	-	-	**	0,16
236	T4-7-T1-4	2,00±0,36	2,00±0,42	2,19±0,42	3,92	*	-	-	-	-	*	0,18
326	N1-4	39,35±1,53	39,78±1,62	40,27±2,10	5,12	***	-	-	-	-	*	0,23
327	N4-7	40,09±1,60	40,74±1,58	41,42±2,02	11,24	***	-	-	-	-	**	0,30
328	N7-10	42,46±2,13	43,35±1,64	44,12±1,59	17,54	***	*	***	***	***	***	0,34
345	N4-7-N1-4	0,73±0,89	0,94±0,98	1,16±1,20	3,13	*	-	-	-	-	*	0,13
347	N7-10-N4-7	3,07±1,94	3,61±1,54	3,83±1,98	3,21	*	-	-	-	-	-	0,04
346	N7-10-N1-4	2,35±1,55	2,67±1,16	2,67±1,16	3,13	*	-	-	-	-	-	0,11
380	xN1-10	13,54±0,51	13,76±0,48	13,98±0,56	6,29	**	-	-	-	-	**	0,25
420	%Nparzyste	22,03±19,07	33,17±21,67	28,68±22,89	5,37	***	***	***	***	***	-	0,06
421	%Nieparzyste	77,97±19,07	66,83±21,67	71,32±22,89	5,37	***	***	***	***	***	-	-0,06
436	%L	66,53±35,79	68,35±28,65	64,02±32,92	0,96	NS	-	-	-	-	-	-0,07
437	%P	33,47±35,97	31,65±28,65	35,96±32,92	0,96	NS	-	-	-	-	-	0,07
419	Nzmian rytmu	1,26±0,74	1,35±0,70	1,33±0,74	0,30	NS	-	-	-	-	-	0,00

*tylko dla wybranej grupy; wielu płotkarzy nigdy nie biegło dystansu 400 m bez płotków

Dane dowodzą, że wysokość i masa ciała, oceniane osobno, nie różnicują badanych grup. Statystyczny model płotkarza światowego poziomu to 185–186 cm i 75–77 kg.

Niewielkie różnice dotyczą wieku uzyskania największych sukcesów. Wiek to 25–26 lat, z tym, że najlepsi płotkarze są nieco starsi ($p \leq 0,05$). Z punktu widzenia rozwoju kariery sportowej często poruszany jest aspekt inicjacji startów na tym dystansie. Wyniki analizy nie wskazują na fakt znaczenia wieku rozpoczęcia startów i poziomu wstępnego. Parametry te nie

mają zupełnie znaczenia w późniejszej karierze. Średnio, najlepsi płotkarze świata rozpoczynają starty w wieku juniora (19 lat), z wynikiem ok. 51,70 s. Różnice indywidualne są znaczne.

Podstawowe różnice między grupami dotyczą poziomu sportowego dotyczą rekordu życiowego w biegu na 400 m (bez płotków). Dane dowodzą znacznych różnic między wszystkimi grupami – 45,46/45,82/46,48 s ($p \leq 0,001$). W kontekście rekordowych biegów na 400 m z płotkami i bez ważnym elementem oceny mistrzostwa technicznego jest index techniki (TI). Ten parametr jest porównywalny dla wszystkich grup ($p \geq 0,05$).

Ocena różnic czasu pokonania kolejnych JP dowodzi zdecydowanych różnic między trzema grupami, we wszystkich (11) podstawowych jednostkach czasowych.

Czas reakcji nie różnicuje badanych grup.

Najmniejsze różnice dotyczą pierwszej części biegu (T0-4), w której najlepsi płotkarze w niewielkim stopniu ($p \leq 0,05$) różnili się od zawodników niższego poziomu. Największy związek z końcowym wynikiem mają następujące jednostki płotkarskie – t4-5 ($r = 0,55$) oraz t7-8 i t8-9 (odpowiednio – $r=0,61$ i $0,62$). W tym miejscu akcentowane są dwie części biegu – końcówka pierwszej prostej (przygotowania do zmiany rytmu) oraz „wyjście” z drugiego wirażu.

Wyodrębnienie najszybszych (t_{best}) i najwolniejszych ($t_{slowest}$) jednostek płotkarskich dowodzi decydującego znaczenia tych ostatnich ($r = 0,59$).

Analiza różnic większych części dystansu (2JP, 3JP) świadczy o znaczeniu środkowej i końcowej części biegu. W odniesieniu do 2JP decydująca jest odległość h6-8 (=pełny wiraż; $r=0,68$), w analizie 3JP – h4-7 – końcowy fragment biegu, uwzględniający odcinek od drugiej części wirażu do rozpoczęcia finiszu ($r = 0,74$). Znaczenie drugiego wirażu potwierdza parametr t5-8 ($r = 0,73$).

Największe zróżnicowanie wyników dotyczy odcinka finiszowego (SD we wszystkich grupach jest największa ze wszystkich analizowanych podstawowych części biegu)

Bez względu na parametry czasowe jednoznacznie szeregują znaczenie kolejnych fragmentów biegu. Analiza wartości procentowych (%) nie pozwala na jednoznaczne sformułowania wniosków. Tylko pierwszy fragment biegu, uwzględniający wyłącznie dobieg do pierwszego płotka (%0-1) istotnie różnicuje analizowane grupy ($p \leq 0,001$). Na tym odcinku najszybciej biegają najsłabsi zawodnicy, co sugeruje krytykę „szybkościowej strategii” biegu. W pozostałych częściach biegu „proporcjonalna” strategia biegu jest podobna. (NS).

Strategia czasowa w biegu na 400 m ppł dotyczy także proporcji i różnic w tempie pokonania podobnych (co do długości odcinków) fragmentów biegu. Analiza wykazała, że największe znaczenia ma różnica skrajnych odcinków – $t_{worst}-t_{best}$ (w ujęciu jednej JP) oraz T7-10-t1-4 (3JR).

Analiza liczby kroków ma znaczenie na wszystkich poziomach sportowych. Pierwsza część biegu (N1-4) różnicuje grupy najlepszych (A) i słabszych (C) zawodników. Druga (N4-7) wprowadza różnice *stride pattern* także między grupami B i C. Końcowa część dystansu dowodzi różnic między wszystkimi grupami. W tej końcowej fazie biegu minimalna liczba kroków jest ważna w aspekcie końcowego rezultatu. Minimalna liczba kroków (w ujęciu całego dystansu) ma także istotne, jednakże nie najwyższe znaczenie ($r = 0,25$) w czasie końcowego biegu.

Podobnie, jak w analizie struktury czasowej, różnice liczby kroków w poszczególnych częściach dystansu, są mało istotne.

W przypadku analizy tzw. „rytmu płotkarskiego” (= *stride pattern*) różnice wykorzystania rytmu nieparzystego (13, 15 kroków) i parzystego (14, 16 kroków) dotyczą jedynie grup A i B ($p \leq 0,01$). Najlepsi zawodnicy najczęściej wykorzystują „rytmy” nieparzyste. Grupy najlepszych (A) i najslabszych (C) to zdecydowanie „jednonożni” płotkarze.

Trudno jednoznacznie ocenić znaczenie pokonywania płotków lewą (wg większości specjalistów „lepszą”) nogą atakującą. Mimo, iż jest ona dominującą w biegu na 400 m przez płotki, parametr ten nie różnicuje grup badanych.

Ocena budowy ciała na podstawie wskaźnika BMI dowodzi jednak, że najlepsi płotkarze są silnie zbudowani, co może sugerować (eliminując możliwości otłuszczenia) na lepsze przygotowanie siłowe płotkarzy biegających poniżej 49 s. To wskazówka dla organizacji treningu w zakresie przygotowania motorycznego, z akcentem na siłę.

Liczba zmian rytmu kroków sugeruje ich minimalizację w grupie najwyższego poziomu; generalnie różnice te są jednak statystycznie nieistotne.

Wnioski:

1. Wysokość i masa ciała nie różnicuje płotkarzy biegających poniżej 50 s.
2. Najlepsi płotkarze świata rekordowe wyniki uzyskują ok. 26-27. roku życia, po ok. 7-8. latach specjalizacji na dystansie 400 m H.
3. Podstawą sukcesów najlepszej grupy płotkarzy jest wysoki poziom przygotowania w zakresie wytrzymałości anaerobowej (=T400 m). Poziom przygotowania technicznego we wszystkich grupach jest podobny, na poziomie 2-2,2 s.
4. Newralgiczne części dystansu to końcówka pierwszej prostej (t4-5) oraz odcinek „wejścia i wyjścia” z ostatniego wirażu” (t7-8 i t 8-9).
5. Różnice międzygrupowe wskazują na znaczenie odcinków T6-8, T5-8 i T7-10; czas pokonania drugiej części biegu, z akcentem na „wyjście” z wiraży na ostatnią prostą wydaje się decydujące we współzawodnictwie na najwyższym poziomie.

6. Wykorzystując procentowe wartości czasu pokonywania kolejnych odcinków zauważa się negatywny wpływ szybkiego rozpoczynania biegu. Szybkościowa strategia biegu jest charakterystyczna dla najsłabszej grupy.
7. Minimalna liczba wykonywanych kroków różnicuje zawodników europejskiego i światowego formatu. Dotyczy to szczególnie końcowej części dystansu.
8. Najlepsi płotkarze zdecydowanie preferują pokonywanie płotków dominującą nogą atakującą. W większości (2/3) jest to kończyna lewa.

Wnioski aplikacyjne:

1. Poszukując kandydatów na płotkarzy na 400 m przez płotki budowę ciała należy traktować jako ważną, jednakże dodatkową w stosunku do poziomu biegu na 400 m.
2. Okres specjalistycznego treningu do osiągnięcia mistrzostwa sportowego (ok. 7 lat od początkowych sukcesów) należy wypełnić środkami treningowymi odpowiednimi do krzywej rozwoju.
3. Dane dowodzą, że technika pokonywania płotków na dystansie 400 m jest wyłącznie „użytkowa”.
4. W treningu najlepszych zawodników należy w pierwszej kolejności akcentować trudność pokonanie końcowej części pierwszej prostej i „wyjście” z drugiego wirażu.
5. Istotne, negatywne, znaczenie czasu najsłabszej jednostki płotkarskiej potwierdza konieczność wybranie strategii biegu o łagodnych spadkach prędkości.
6. Wykorzystanie lewej nogi atakującej to w 66% przywilej najlepszych zawodników. Ma to ważne znaczenie w realizacji tzw. treningu rytmowego.

Piśmiennictwo uzupełniające

Adamczyk 2007–2009
Iskra 1993b, 1997c, 2006, 2010
Iskra i Pietrzak 2016ab

4.4. Budowa ciała a wybór strategii biegu na 400 m przez płotki mężczyzn

Tytuł oryginalny: "EFFECT OF PHYSIQUE OF THE 400-m ELITE MEN HURDLERS ON THE STRATEGIES AND PERFORMANCE OF 400-m HURDLES RACE". (W przygotowaniu do publikacji)

Współautorzy: Stanula Arkadiusz², Przednowek Krzysztof³, Gupta Subir⁴, Best V. René⁵

²Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education, Katowice, Poland,

³Faculty of Physical Education, University of Rzeszow, Rzeszow, Poland,

⁴Faculty of Medical Sciences, The University of The West Indies, Barbados

⁵Warren's Healthcare Complex, Barbados

Pytanie:

1. Czy parametry budowy ciała rzutują na wybór strategii biegu na 400 m przez płotki?

Wprowadzenie

Bieg na 400 m przez płotki to złożona konkurencja lekkoatletyczna, w której wyniki zależne są w równej mierze od przygotowania motorycznego i techniki pokonywania płotków (Lindeman 1995, McFarlane 2004, Iskra 2012a, 2013). Na dystansie 400 m ustawionych jest 10 płotków o wysokości 91 cm, oddalonych od siebie o 35 m. Przepisy biegu sprawiają, że ważnym elementem organizacji treningu jest budowa ciała (McFarlane 2004, Ozaki i wsp. 2019, McGill 2020).

Strategia biegu na 400 m przez płotki opiera się na dwóch podstawowych elementach: struktury czasowej (*split times*) oraz struktury przestrzennej (*stride pattern*) – Iskra i Coh 2011, Guex 2012, Iskra i wsp. 2015). Obydwa aspekty mają podstawy w predyspozycjach motorycznych (głównie w zakresie wytrzymałości o charakterze anaerobowym) oraz w budowie ciała (Lindeman 1995, Boyd 2004, McFarlane 2004, Iskra 2012a).

W historii światowego biegu na 400 m przez płotki sukcesy odnosili biegacze o różnej budowie ciała. Pierwsi medaliści olimpijscy w 1900 r. byli niskiego wzrostu (Tewksbury 170 cm, Tauzin i Orton po 169 cm), kolejni mieli zróżnicowaną budowę – 173–196 cm oraz 70–85 kg (Quertecani 2009, Iskra 2012b, Wallechinsky i Loucky 2012). Badania nad wpływem budowy ciała na wyniki w biegu na 400 m przez płotki nie formułują jednoznacznych opinii, mających później znaczenie w procesie szkolenia (Iskra i Walaszczyk 2003, Ivan i Gheorghe 2019)

Predyspozycje somatyczne są jednak nieodzowną częścią konstrukcji strategii biegu na 400 m przez płotki (Kostial i wsp. 1978, Nie i Zhang 1998, Iskra 2012b, McGill 2020).

Material

W analizie uwzględniono 297 indywidualnych biegów na dystansie 400 m przez płotki mężczyzn rozgrywanych na imprezach rangi mistrzowskiej w latach 1968–2017.

W 50-letnim rozwoju światowej lekkiej atletyki uczestniczyło 141 płotkarzy najwyższego poziomu sportowego (wyniki od 46,78 do 50,56 s, średnia $48,65 \pm 0,74$), na różnych etapach kariery sportowej (wiek płotkarzy od 19. do 36 lat).

Średni wiek badanych – $25,96 \pm 3,69$ lat, wysokość ciała – $185,51 \pm 5,85$ cm, masa ciała – $76,53 \pm 5,71$ kg, BMI – $22,23 \pm 1,11$.

Dane dotyczące wysokości i masy ciała uzyskano na podstawie corocznych pozycji „*The Association of Track and Field Statisticians „Athletics”*” z lat 1988–2019 (Matthews od 1988 do 2019).

Metoda

Płotkarzy podzielono na 4 grupy, wg wysokości ciała i wskaźnika BMI. Kryterium stanowiły średnie dane dotyczące całej grupy:

Grupa A (n = 71) – płotkarze wysocy (≥ 185 cm) o wysokim BMI ($\geq 23,09$),
Grupa B (n = 84) – płotkarze wysocy (≥ 185 cm) o niskim BMI ($< 23,09$),
Grupa C (n = 70) – płotkarze niscy (< 185 cm) o wysokim BMI ($\geq 23,09$),
Grupa D (n = 72) – płotkarze niscy (< 185 cm) o niskim BMI ($< 23,09$).

W analizie wykorzystano 4 grupy parametrów, istotnych w ocenie struktury czasowo-przestrzennej biegu na 400 m przez płotki.

1. Podstawowe zmienne identyfikacyjne – wynik w biegu na 400 m przez płotki (t400H), rekordowy rezultat w biegu na 400 m (bez płotków – t400), indeks techniki (TI = t400H-t400), wysokość i masa ciała oraz wskaźnik BMI – tabela 4.4.1.
2. Zmienne czasowe – czasy podstawowych części dystansu: T0-1, T1-3, T3-5, T6-8, T8-10, T10-F (finisz). Podziału dokonano na podstawie wcześniejszego piśmiennictwa (Canova 1979, Glad i Brügemann 1990, Ditroilo i Marini 2000, Guo i Zhang 2007, Iskra i Walaszczyk 2007, Greene i wsp. 2008, Graubner i Nixdorf 2011, Iskra 2012a) – tabela 4.4.2.
3. Zmienne przestrzenne – liczba kroków wykonywanych w trzech częściach biegu (N1-4, N4-7, N7-10) oraz procentowy udział parzystej i nieparzystej liczby kroków w poszczególnych „jednostkach płotkarskich” (= 9 odległości między płotkami). Ww. zmienne są istotne w planowaniu i realizacji tzw. „*stride pattern*” (Ditroilo i Marini 2000, Iskra i Walaszczyk 2007, Guex 2012, Iskra i wsp. 2021) – tabela 4.4.3.
4. „*Stride pattern*” czyli układ (wzorec) liczby kroków wykonywanych między płotkami. Wyróżniono 9 modeli realizowanych przez najlepszych płotkarzy świata – tabela 4.4.4.

Analiza statystyczna

W analizie uwzględniono podstawowe parametry statystyczne ($\bar{x} \pm SD$). Różnice międzygrupowe oceniano na podstawie analizy wariancji (ANOVA) z późniejszym testem post-hoc Tucke'a HSD ($p \leq 0,05$).

Wyniki

Tabela 4.4.1.

Budowa ciała i przygotowanie motoryczne i techniczne 4 analizowanych grup (n = 297)

Zmienna	Grupy płotkarzy				$\bar{x} \pm SD$	p
	A (n = 71)	B (n = 84)	C (n = 70)	D (n = 72)		
t400mH (s)	48,62 ± 0,68	48,72 ± 0,78	<u>48,43 ± 0,72</u>	48,84 ± 0,71	48,65 ± 0,74	*
t400m (s)	46,01 ± 1,06	45,98 ± 0,85	<u>45,57 ± 0,62</u>	46,21 ± 0,63	45,94 ± 0,84	*
TI (s)	<u>1,97 ± 0,95</u>	2,03 ± 0,73	2,29 ± 0,50	2,09 ± 0,45	2,09 ± 0,70	*
BH (cm)	<u>190,24 ± 3,65</u>	189,46 ± 3,08	180,73 ± 4,13	180,97 ± 4,19	185,51 ± ,85	*
BW (kg)	<u>83,56 ± 3,36</u>	76,08 ± 2,67	75,65 ± 4,24	70,91 ± 4,01	76,53 ± 5,71	*
BMI	23,09 ± 0,60	21,19 ± 0,78	<u>23,15 ± 0,67</u>	21,64 ± 0,62	22,23 ± 1,11	*

Budowa ciała oparta na dwóch podstawowych parametrach (wysokość i masa) wyraźnie różnicuje płotkarzy, grupując biegaczy na 4 wyraźnie różnicujące grupy – tabela. 4.4.1, 4.4.5.

Jedna grupa płotkarzy prezentuje wyższy poziom od pozostałych – płotkarze niższego wzrostu o solidnej budowie ciała osiągają najlepsze rezultaty (grupa C). Podobne wyniki osiągają płotkarze wysocy o znacznej wartości BMI (grupa A). Wyniki wskazują, że płotkarze, o różnej wysokości ciała posiadają także znaczną masę, prawdopodobnie głównie masę mięśni.

Największe różnice wyników dotyczą dystansu 400 m (*flat*) – najlepsi byli płotkarze niżsi, o większej budowie ciała oraz wysocy i szczupli – tabela 4.4.1 oraz 4.4.5. Takie wyniki nie ułatwiają ustalenia preferencji najlepszych biegaczy na 400 m przez płotki.

Płotkarze grupy C mają najłabszą technikę (TI), najlepszą – biegacze wysocy i szczupli.

Tabela 4.4.2.

Parametry czasowe strategii czterech grup płotkarzy

Zmienna	Grupy płotkarzy				Płotkarzy (n = 297)	p
	A(n = 71)	B (n = 84)	(n = 70)	D (n = 72)		
T0-1 (s)	5,99 ± 0,10	5,99 ± 0,12	<u>5,96 ± 0,13</u>	6,04 ± 0,12	6,00 ± 0,13	NS
T1-3 (s)	<u>7,52 ± 0,19</u>	7,55 ± 0,20	7,53 ± 0,20	7,62 ± 0,23	7,56 ± 0,21	*
T3-5 (s)	7,85 ± 0,16	7,85 ± 0,22	<u>7,83 ± 0,21</u>	7,81 ± 0,16	7,86 ± 0,21	NS
T6-8 (s)	8,60 ± 0,19	8,61 ± 0,20	<u>8,55 ± 0,17</u>	8,63 ± 0,18	8,60 ± 0,19	NS
T8-10 (s)	9,20 ± 0,26	9,22 ± 0,26	<u>9,07 ± 0,22</u>	9,18 ± 0,22	9,17 ± 0,24	*
T10-F (s)	<u>5,32 ± 0,28</u>	5,36 ± 0,29	5,37 ± 0,28	5,35 ± 0,29	5,35 ± 0,28	NS

Analiza czasowej struktury biegu dowodzi różnic tempa biegu jedynie w obszarze dwóch części biegu – T1-3 (tzw. „szybkość płotkarska”) oraz T8-10 (tzw. „wytrzymałość płotkarska”). Części dystansu bez konieczności pokonywania płotków (dobieg do pierwszego płotka oraz odcinek finiszowy) nie różnicują grup płotkarzy. Brak różnic także w najtrudniejszych pod względem technicznym (rytmowym) odcinku T6-8 oraz na stosunkowo prostym odcinku między 3. a 5. płotkiem (tabele 4.4.2. i 4.4.5.).

Tabela 4.4.3.

Parametry przestrzenne czterech grup płotkarzy

Variable	Groups of hurdlers				Hurdlers (n = 297)	p
	A(n = 71)	B (n = 84)	(n = 70)	D (n = 72)		
N1-4	<u>39,13 ± 1,23</u>	39,28 ± 1,29	40,62 ± 2,21	40,43 ± 1,88	39,84 ± 1,84	*
N4-7	<u>39,91 ± 1,46</u>	40,25 ± 1,41	41,70 ± 1,98	41,55 ± 1,64	40,83 ± 1,81	*
N7-10	<u>42,47 ± 1,83</u>	42,71 ± 2,04	44,31 ± 1,24	44,35 ± 1,14	43,43 ± 1,84	*
%odd	<u>23,63 ± 18,86</u>	28,73 ± 21,87	28,48 ± 21,22	36,93 ± 23,96	29,4 ± 21,96	*
%even	<u>76,37 ± 18,86</u>	71,27 ± 21,87	71,52 ± 21,22	63,07 ± 23,96	70,58 ± 21,96	*

Budowa ciała ma decydujący wpływ na wartości *stride pattern* ($p \leq 0,001$). Płotkarze wysocy (grupy A, B) wykonują zdecydowanie mniej kroków między płotkami. Z punktu widzenia strategii biegu płotkarze grupy D w największym stopniu wykonują *odd stride pattern* (36,93%, $p \leq 0,003$) – tabela 4.4.5.

Tabela 4.4.4.*Stride pattern* czterech grup płotkarzy

No	Stride pattern	Groups of hurdlers				Hurdlers (n = 297)
		A (n = 71)	B (n = 84)	C (70)	D (n = 72)	
1	9 x 13	2	8	-	-	10
2	9 x 15	1	-	9	5	15
3	13 + 14	35	33	7	5	80
4	14 + 15	1	7	13	23	44
5	13-14-15	16	14	8	8	46
6	14-15-16	10	14	28	26	82
7	13/15	-	1	2	-	3
8	14/16	-	-	3	5	8
9	12-13	6	7	-	-	13
Sum	-	71	84	70	72	297

Analiza wariantów „*stride pattern*” dowodzi, że „rytm” jednorodny preferowany jest dla płotkarzy wysokich i szczupłych (9 x 13) a w innej wersji niskich i dobrze zbudowanych (9 x 15). Wśród płotkarzy grup A i B (wysocy) najbardziej preferowany „*stride pattern*” to 13 + 14, a w grupie płotkarzy niskich (grupa C i D) – 14 + 15. Zauważa się zanik strategii przestrzennej typu 13/15. „Rytm” przyszłościowy 12 + 13 dotyczy wyłącznie zawodników wysokich – tabela 4.4.5

Tabela 4.4.5.

Analiza wariancji (ANOVA) wybranych zmiennych w czterech grupach płotkarzy

Variable	F	p	ANOVA		
			A	B	C
T400mH	4,12	0,007		B-C	C-D
T400m	7,63	0,000	A-C	B-C	C-D
TI	2,85	0,038	A-C	B-C	
BH	140,10	0,000	A-C, A-D	B-C, B-D	
BW	150,53	0,000	A-B, A-C,	B-D	C-D
BMI	165,24	0,000	A-D A-B, A-D	B-C, B-D	C-D
T1-3	2,97	0,032	A-D		C-D
T8-10	5,09	0,002	A-C	B-C	C-D
N1-4	15,07	0,000	A-C, A-D	B-C, B-D	
N4-7	22,35	0,000	A-C, A-D	B-C, B-D	
N7-10	28,04	0,000	A-C, A-D	B-C, B-D	
%odd	4,65	0,003	A-D	B-D	C-D

Dyskusja

Historia biegu na 400 m przez płotki mężczyzn wskazuje na znaczne zróżnicowanie budowy ciała najlepszych zawodników. Rekordowe wyniki i medale olimpijskie zdobywali biegacze o wysokości ciała 169–198 cm i masie ciała 62–90 kg (Quercetani 2009, Iskra 2012b, Matthews 2019). W grupie płotkarzy podlegających analizie ww. parametry były podobne – odpowiednio 169–198 cm oraz 62–90 kg. Większość autorów jest zgodna w stwierdzeniu, że budowa ciała (a w szczególności wysokość ciała) ma związek z przyjętą strategią biegu (Kostial i wsp. 1978, Boyd 2004, Geller i wsp. 2012).

Dotychczasowe analizy budowy ciała płotkarzy były częścią badań większej grupy sportowców (np. olimpijskich) lub dodatkową informacją dołączoną do innego typu badań (np. biomechanicznych). W analizach uwzględniano przede wszystkim podstawowe parametry budowy ciała – wysokość i masa ciała. Warto wspomnieć o modelu budowy ciała płotkarzy w różnych grupach badawczych.

Wysokość ciała płotkarzy przedstawionych w tej pracy jest nieco większa niż wyniki wcześniejszych analiz, masa jest podobna (Hirata 1966, Ivan i Gheorghe 2019, Khosla 1978, Tanner 1964, Iskra i Walaszczyk 2003). Prekursorem analizy budowy ciała najlepszych lekkoatletów świata (w tym sprinterów i płotkarzy) byli Tanner (1964) oraz Hirata (1966) analizując uczestników Igrzysk Olimpijskich w Tokio w 1964 r. określili średnią wysokość ciała na $183,04 \pm 6,7$ cm. Khosla (1978) analizował finalistów olimpijskich z Monachium (1972) ustalając wysokość ciała na $182,5 \pm 7,3$ cm masę ciała $77,14 \pm 7,04$ kg.

Ostatnie dane dotyczą także wyłącznie biegaczy na dystansie 400 m przez płotki (Iskra i Walaszczyk 2003, Del Amo 2012, Ivan i Gheorghe 2018). W analizie statystycznej przeprowadzonej wśród 326 najlepszych wyników do roku 2018 ($x = 47,75 \pm 0,22$ s; wyniki od 46,78–48,00 s) Ivan i Gheorghe określają optymalne parametry budowy ciała najlepszych płotkarzy na 400 m jako $184,794 \pm 5,50$ cm oraz $77,74 \text{ kg} \pm 5,15$ kg. Specyficzny wskaźnik budowy (masa ciała (g)/wysokość ciała (cm)) wynosił $420,66$ g/cm. Analiza przebiegu rywalizacji na Mistrzostwach Świata w Deagu (2009) ustaliła średnią wysokość ciała na $183,04 \pm 6,7$ cm (Lopez Del Amo i wsp. 2012).

Sedeaud et al. (2014) analizując budowę ciała obszernej ($n = 160$) grupy najlepszych biegaczy w porównywalnym dystansie na 400 m przedstawiają następujące dane: masa ciała – $74 \pm 6,38$ kg, wysokość ciała – $182,754 \pm 6,24$ cm oraz BMI – $22\text{--}23$ kg/m².

W historycznych już analizach Czechów (Kostial i wsp. 1978) przyjęcia „rytmu” kroków zależy od długości kończyn ($r = -0,80$) a końcowy wynik zależy od wysokości ($r = -0,487$, $p \leq 0,01$) i masy ciała ($r = 0,359$, $p \leq 0,005$). W analizie przeprowadzonej przez Iskrę i Walaszczyk (2003) najlepsi płotkarze w Polsce mieli $183,5 \pm 4,8$ cm oraz $74,4 \pm 4,9$ kg.

Najlepszy wynik w biegu na 400 m przez płotki na świecie osiągają płotkarze ze znaczną masą ciała, bez względu na jej wysokość (tabela 4.4.1.). Jak podkreślają najlepsi trenerzy, o sukcesach w biegu na 400 m przez płotki decyduje właściwe przygotowanie siłowe (McFarlane 2004, Hiserman 2012, Iskra 2012a). Takie rozumowanie jest w pełni uzasadnione, gdyż każde pokonanie płotka to „skok” przez płotek o długości ok 3,50 m (Mann 2015). Kolejnym, być może najważniejszym elementem przygotowania motorycznego płotkarzy jest poziom wytrzymałości anaerobowej (Gupta i wsp. 1999, Zauhal i wsp. 2010). Najbardziej miarodajnym parametrem tej zdolności jest wynik w biegu na 400 m (*flat*). Właśnie zdolności wytrzymałościowo-szybkościowe (anaerobowe) mogą być czynnikiem decydującym w osiągnięciu rezultatów najwyższego poziomu w grupie płotkarzy niższych, o znacznej masie ciała. (tabela 1). Zagadnienie poziomu biegu na 400 m przez płotki w kontekście poziomu techniki pokonywania płotków jest często analizowane przez trenerów i naukowców, szczególnie biomechaników (Iskra i wsp. 2000, Mann 2015). Technical index to jeden z podstawowych parametrów oceniających poziom przygotowania technicznego płotkarzy (Iskra 2013). Analizy wykazały lepszą technikę pokonywania płotków wykazują biegacze szczupli. Różnica między czasem biegu na 400 m ppł a 400 m wśród tych zawodników wynosi ok. 2 s i jest zgodna z najwyższymi normami (Boyd 2004, Hisermann 2012, Iskra 2013).

Analiza zmian czasowej struktury biegu (= zmiany prędkości pokonywania kolejnych odcinków 35-metrowych) to najczęściej stosowana metoda oceny skuteczności biegu (Canova 1979, Glad i Brüggemann 1990, Ditroilo i Marini 2000, Graubner i Nixdorf 2011, Guex 2012, Iskra i wsp. 2015, 2021). Podział dystansu na kilka części biegu wynika ze zróżnicowanej charakterystyce biegu, uwzględniającej krzywizny bieżni i zmian (fizjologicznych i biomechanicznych) wynikających ze zmęczenia wysiłkiem anaerobowym (Schwartz i wsp. 1990, Gupta i wsp. 1999, Zauhal i wsp. 2010, Iskra i Coh 2011, Mann 2015).

Wyniki analizy czasowej strategii biegu na 400 m przez płotki w kontekście budowy ciała są zaskakujące. Różnice czasowe początkowej (T0-1 – dobieg do pierwszego płotka) i końcowej (T10-F – 40 m finiszu) części biegu nieistotne statystycznie (tabela 2). Brak różnic w czasie pokonywania środkowej (T3-5, T6-8) części dystansu świadczy o tym, że w tym najważniejszym fragmencie biegu (Iskra i wsp. 2021) wszyscy płotkarze, bez względu na wysokość i masę ciała, biegają podobnie. Różnice dotyczą pierwszej (T1-3) i końcowej części biegu T8-10). Pod względem szkoleniowym płotkarze

wysocy (ok. 185–190 cm) powinni koncentrować się na szybkim pokonaniu pierwszej prostej dystansu, a płotkarze niżsi (poniżej 185 cm) mają szczególne możliwości do mniejszej straty prędkości na ostatniej prostej.

Największe różnice międzygrupowe mają miejsce w zakresie liczby wykonywanych kroków. Płotkarze o większej wysokości ciała mają dłuższe kończyny dolne, co (pośrednio) wpływa na dłuższy krok biegowy (Iskra i Walaszczyk 2003, Uth 2005). Konsekwencją tego jest mniejsza liczba kroków między płotkami, ze wskazaniem na 13 kroków (tabela 4.4.3.). Możliwość biegu w „rytmie” 13-krokowym stwarza możliwości pokonywania kolejnych płotków wyłącznie jedną nogą atakującą (grupa A). Płotkarze szczupli i wysocy w ponad 75% wykorzystują nogę atakującą „lepszą”, zwykle lewą. Taka informacja ma znaczenie w opracowaniu strategii przestrzennej „rytmu” kroków. (Lindeman 1995, Boyd 2004, Greene I wsp. 2008, Iskra 2013, McGill 2020, Iskra I wsp. 2021).

Uwzględniając budowę ciała oraz predyspozycje motoryczne i umiejętności techniczne, płotkarze na 400 m realizują założenia strategiczne, obejmujące tempo biegu (*split times*) oraz wzorzec kroków. Płotkarze wysocy (grupy A i B) realizują scenariusz nastawiony na przeważające wykorzystanie jednej kończyny atakującej (9 x 13, 13-14 oraz 13-14-15), natomiast zawodnicy grup C i D preferują przestrzenną strukturę biegu typu obunożnego (14-15-16). Taki układ kroków sprawia, że istnieje możliwość szkolenia wysokich płotkarzy „jednonożnych”, preferujących bieg z wykorzystywaniem wyłącznie sprawniejszej kończyny, natomiast biegacze o niższej wysokości ciała zmuszeni są do opanowania techniki pokonywania przeszkód obydwoma kończynami.

Wnioski

1. Budowa somatyczna wskazuje, że wyniki najwyższego poziomu sportowego są dostępne dla zawodników o zróżnicowanej budowie ciała.
2. Płotkarze o znacznej masie ciała wykorzystują wysoki poziom przygotowania motorycznego (w zakresie wytrzymałości anaerobowej), płotkarze smukli prezentują lepszą technikę pokonywania płotków.
3. Płotkarze wysocy charakteryzują się szybkim pokonaniu pierwszej prostej, płotkarze o niskiej wysokości ciała mają najmniejsze straty prędkości biegu na ostatniej prostej. Brak różnic czasowej struktury biegu w odległościach bez płotków (dobieg i wybieg do mety) a także w środkowej części biegu.

4. Znaczna wysokość ciała i szczupła budowa pozwala na bieg w „rytmie” 13-krokowym i pokonywania płotków tylko jedną kończyną atakującą.
5. Wzorzec kroków płotkarzy wysokich może bazować na pokonywaniu płotków „lepszą” kończyną atakującą, w przypadku płotkarzy niskich konieczna jest umiejętność biegu z wykorzystaniem nogi lewej i prawej.

Wnioski aplikacyjne

1. Wysokość ciała jest wartością dodaną, jednakże nie konieczną do uzyskania wysokiego poziomu wyników.
2. Typologia budowy ciała może być wskazówką dla trenera co do wyboru grup środków treningowych – technicznych lub motorycznych.
3. W organizacji treningu należy uwzględnić specyficzną strategię płotkarzy wysokich nastawionych głównie na bieg w rytmie 13-krokowym, atakowanie płotka lewą nogą i szybki początek biegu.
4. W treningu niższych płotkarzy znaczą rolę odgrywają ćwiczenia w „rytmie” parzystym (14-krokowym) i nastawienie na drugą część dystansu.

Piśmiennictwo

Boyd 2004
Canova 1979
Ditroilo i Marini 2000
Geller i wsp. 2012
Glad i Brügemann 1990
Graubner i Nixdorf 2011
Greene i 2008
Guex 2012
Guo i Zhang 2007
Gupta i 1999
Hirata 1966
Hiserman 2011
Iskra 2012b, 2013a
Iskra i Walaszczyk 2003, 2007b
Iskra i Coh 2011
Iskra i wsp. 2000, 2015, 2021
Ivan i Gheorghe 2019
Khosla 1978,
Kostial i wsp. 1978
Lindeman 1995
Lopez Del Amo i wsp. 2012
Mann 2015
Matthews od 1988 do 2019
McFarlane 2004
McGill 2020
Nie and Zhang 1998

Ozaki i wsp.2019
Quartecani 2009
Schwartz i wsp. 1990
Sedeaud i wsp. 2014
Tanner 1964
Uth 2005
Wallechinsky i Loucky 2012
Zauhal i wsp.. 2010

4.5. Typ „rytmu” płotkarskiego a wybór strategii biegu na 400 m przez płotki

Janusz Iskra, Marin Čorluka, VodicaJanez, Krzysztof Maćkała

Tytuł oryginalny: „Extended analysis of types of stride pattern and pacing strategy in 400 m hurdle run”, Acta Kinesiologica 2021, (15), 1, 15-23.

Pytanie:

1. W jaki sposób „*stride pattern*” determinuje strategię biegu na 400 m przez płotki?

Wprowadzenie

Bieg na 400 m przez płotki to z jednej strony klasyczna konkurencja sprinterska, z drugiej zupełnie oryginalne połączenie szybkości i wytrzymałości (1), przygotowania motorycznego i techniki pokonywania płotków (2), a także specyficznych zdolności wysiłkowo-koordynacyjnych, nazywanych przez specjalistów *hurdle rhythm* (3) – Iskra (2012), Ozaki i wsp. (2019)

Sukces w biegu na 400mH zależy od minimalnych strat prędkości biegu w czasie pokonywania płotków. To z kolei uzależnione jest od przyjęcia właściwego *stride pattern*, uwarunkowanego indywidualnymi zdolnościami motorycznymi, techniką pokonywania płotków a także budową ciała (Hay i Schoebel 1990, Beckenham i Rosemond 2006, Guex 2012, Iskra 2012, 2013, Babić i wsp. 2014).

Nadrzędna, docelowa *pacing strategy* jest prosta – najkrótszy czas pokonywania dystansu 400 m z 10. płotkami. Cel ten jest ściśle uzależniony od *stride pattern strategy*. Przyjęcie optymalnego *strides rhythm* gwarantuje minimalne straty prędkości biegu na różnych etapach zmęczenia (Ditroilo i Marini 2000, Zauhal i wsp. 2010, Iskra i wsp. 2015). *Stride pattern* to nie tylko liczba kroków wykonywanych w kolejnych odległościach między płotkami (12-15 w grupie najlepszych zawodników świata), ale także zwiększenie liczby kroków (np. z 13. na 14), liczbę tych zmian, proporcje kroków „nieparzystych” (13, 15) i „parzystych” (14) a także wykorzystania nogi atakującej płotek (lewa lub prawa) – Iskra i Walaszczyk 2007, Iskra 2008, Iskra i Coh 2011. Ta ostatnia uwaga jest często decydująca w praktyce szkolenia – od procesu selekcji do mistrzostwa sportowego. Problem strategii biegu na 400nH nie może ograniczać się tylko do analizy czasowej i wysiłkowej, jak w biegu na 400m bez płotków (Gupta i wsp. 1991, Hannon i Thomas 2011, Brice 2018)

Celem pracy była ocena strategii biegu na 400 m przez płotki najlepszych płotkarzy świata realizujących pięć typów *stride pattern*.

Materiał

W analizie uwzględniono 243 indywidualne biegi 114 czołowych płotkarzy świata na dystansie 400 m przez płotki uczestniczących w międzynarodowych imprezach o charakterze mistrzowskim w latach 1968–2015. Wszystkie zawody przeprowadzono na bieżni syntetycznej a końcowe rezultaty mierzono wg elektronicznego pomiaru czasu, z dokładnością do 0,01 s. W sumie przeanalizowano 39 mistrzostw rozgrywanych w ciągu 48 lat. Wszystkie dane dotyczyły wyłącznie biegów finałowych. Jako kryterium wykluczenia przyjęte wyniki, które (z różnych przyczyn – kontuzja, brak chęci rywalizacji ze względu na straconą pozycję itp.) znacznie odbiegały od poziomu pozostałych zawodników (+2SD).

W analizie uwzględniono: 12 igrzysk olimpijskich (1968–2012), 14 mistrzostw świata (1983–2015), 12 mistrzostw Europy (1971–2014) oraz amerykańskie eliminacje *Olympic Trials* z 2008 r. Szczegółowe przedstawienie imprez zawarto w pracy Iskry (2019). Charakterystykę całej grupy przedstawiono w tabeli 4.5.1.

Tabela 4.5.1.

Charakterystyka płotkarzy (n = 243)

Zmienne	Parameters	J.m.	x	SD	Min-max
1. Podstawowe parametry	T400mH	s	48,65	0,71	47,23–50,46
2. Wiek		lata	25,98	3,46	18–37
3. Budowa ciała	BH	cm	185,61	5,65	170–198
	BW	kg	76,60	5,45	60–89
	BMI		22,23	1,10	19,74–25,31
4. Przygotowanie motoryczne i techniczne	T400mH (PB)	s	48,09	0,63	47,10–50,45
	T400m (PB)	s	45,95	0,80	44,05–47,95
	Indeks techniki (TI)	s	2,12	0,92	0,18–4,04

PB – record życiowy (=personal best)

TI = T400mH – T400m

Metody

A. Kompilacja danych

Część danych uzyskano z kompilacyjnej pracy Behma (2014), w której autor zsumował kilkanaście prac zamieszczonych w latach 1995–2011 w *Révue de l'Amicale des Entraîneurs Français d'Athlétisme*. W analizie wykorzystano także dane z projektów realizowanych w czasie najważniejszych zawodów lekkoatletycznych (m.in. Brüggeman i Susanka 1988, Brüggeman i Müller 1999, Graubner i Nixdorf 2011). Podstawowe parametry budowy ciała (BH, BW) uzyskano na podstawie danych przedstawionych w coro-

cznych publikacjach *The Association of Track and Field Statisticians (ATFS)* – *The International Track and Field Annual* z lat 1968–2019 (ostatni redaktor – Peter Matthews). Analizy parametrów czasowych dokonano różnymi metodami – część z nich została opisana w pracy Iskry i Coha (2011). Do najczęściej wykorzystywanych metod pomiaru *split times* w biegu na 400 m przez płotki na imprezach rangi mistrzowskiej była metoda analizy filmowej z wykorzystaniem *video analysis software* (m.in. Dartfish Software). Rzeczność takich danych potwierdziły prace Greene et al. (2008) oraz przykładowe analizy O’Donoghue (2015). Taką naukową procedurę potwierdził m.in. Guex (2012).

B. Wybór parametrów

Parametry analizowane w pracy obejmowały strukturę czasową oraz strukturę przestrzenną. *Split times* oraz *stride pattern* obejmowały podstawowe segmenty płotkarskie (kolejne odległości między płotkami; 1 jednostka płotkarska/JP) oraz odcinki łączone (2JP, 3JP, 4JP).

Podziału dystansu na ww. części dokonano na podstawie wcześniejszych prac związanych ze strategią biegu (patrz tabela 4) oraz publikacji uwzględniających fizjologiczny (Gupta i wsp. 1999, Zauhal i wsp. 2010) i treningowy (Iskra 1991, 2012, 2013, Lindeman 1995, Boyd 2000, McFarlane 2004, Hisserman 2011), aspekt dystansu 400 m przez płotki.

C. Podział na grupy

Podstawowym kryterium podziału płotkarzy na grupy był tzw. *stride pattern* czyli sposób (model, szablon) pokonywania płotków różną konfiguracją kroków (liczba kroków między płotkami, wykorzystanie prawej i lewej nogi atakującej, liczba zmian podstawowego modelu itp.). Dla płotkarzy na 400 m to podstawowy aspekt szkolenia, decydujący o końcowym wyniku (Ditroilo i Marini 2000, McFarlane 2004, Boyd 2011, Iskra 2012, 2013). Nie uwzględniono płotkarzy realizujących stały, 13-krokowy („constans”) *stride pattern*. To jedynie indywidualne przypadki o najwyższym poziomie sportowym. W analizie uwzględniono 5 grup *stride pattern* – tabela 4.5.2.

Tabela 4.5.2.

Pięć typów „*stride pattern*” uwzględnionych w pracy

Nr	Rytm kroków	Nazwa	n	Charakterystyka
A	x13 + y14	Pojedyncza zmiana 1 – OE	76	Zmiany rytmu z nieparzystego (13) na parzysty (14)
B	x14 +y15	Pojedyncza zmiana 2 – EO	42	Zmiana rytmu z parzystego (14) na nieparzysty (15)

C	$x_{13} + y_{14} + z_{15}$	Dwukrotna zmiana - OE01	51	Dwukrotna zmiana „rytmu” kroków z akcentem (50%) na 13-14 kroków
D	$x_{13} + y_{14} + z_{15}$	Dwukrotna zmiana - OE02	31	Dwukrotna zmiana „rytmu” kroków z akcentem (50%) na 14-15 kroków
E	$x_{13} + y_{15}$	Podwójna zmiana /O	43	Podwójna zmiana liczby kroków (z 13 na 15), bez zmiany nogi atakującej

x – pierwsza część dystansu, y – środkowa część dystansu, z – końcowa część biegu
O – „rytm” nieparzysty, E – rytm „parzysty”

D. Analiza statystyczna

W celu charakterystyki całej grupy podano podstawowe parametry statystyczne (x, SD, min-max). W grupach A-E przedstawiono jedynie wartości $x \pm SD$. Różnice międzygrupowe oceniano na podstawie analizy wariancji (ANOVA) z późniejszym wykorzystaniem testu Tukeya.

Wyniki

Wyniki uzyskane przez płotkarzy pięciu grup wskazują na ten sam poziom sportowy. Zawodnicy wszystkich grup byli w tym samym wieku oraz posiadali podobną budowę ciała (BMI). Płotkarze grupy A byli najwyżsi i najciężsi ($189,03 \pm 5,02$ cm oraz $78,71 \pm 5,16$ kg); biegacze grupy B byli najniżsi i najlżejsi ($181,50 \pm 4,80$ cm oraz $72,91 \pm 4,29$ kg). Analiza przygotowania anaerobowego (=rekord życiowy na 400 m) nie wykazała różnic międzygrupowych. Poziom przygotowania technicznego, ocenianego Indeks techniki (TI) był najlepszy w grupie A (13-14), najślabszy w grupie płotkarzy „jednonożnych” (grupa C – 13-15). Szczegółową charakterystykę podano w tabeli 4.5.3.

Tabela 4.5.3.
Podstawowe statystyki (n = 243)

Variable	Groups of hurdlers					ANOVA	Test Tukey'a			
	A	B	C	D	E		A	B	C	D
400mH (s)	48,51 ± 0,66	48,84 ± 0,72	48,71 ± 0,74	48,53 ± 0,71	48,72 ± 0,75	NS				
T _{1-10H}	37,2 ± 0,56	37,47 ± 0,64	37,36 ± 0,69	37,16 ± 0,61	37,31 ± 0,53	NS				
Wiek (years)	25,59 ± 3,76	26,60 ± 3,30	25,42 ± 3,43	26,35 ± 3,91	26,23 ± 3,58	NS				
BH (cm)	189,03 ± 5,02	181,50 ± 4,80	185,51 ± 5,84	185,23 ± 3,94	183,55 ± 5,56	0,000	BCDE	CD		
BW(kg)	78,71 ± 5,16	72,91 ± 4,29	77,49 ± 6,61	76,12 ± 3,56	75,97 ± 5,76	0,000	BDE	CDE		
BMI	22,04 ± 1,17	22,13 ± 0,88	22,48 ± 1,33	22,19 ± 0,87	22,53 ± 1,14	NS				
400m (PB)	46,09 ± 1,01	46,13 ± 0,49	45,69 ± 0,88	45,83 ± 0,77	45,89 ± 0,68	NS				
TI (s)	1,83 ± 0,92	2,22 ± 0,45	2,46 ± 0,59	2,14 ± 0,57	2,19 ± 0,54	0,000	BCDE			D

TI = PB400H – PB400

Analizę czasową kolejnych części dystansu w 5 grupach przedstawiono w tabelach 4.5.5.–4.5.6. Dane wskazują, że parametry czasowe różnicujące grupy płotkarzy dotyczą odległości pierwszej części dystansu (między 1. a 5. płotkiem). Ta część biegu najszybciej pokonują płotkarze z grup D-E, najwolniej z grupy B (14-15). Szybki początek biegu grup DE w konsekwencji obniżył skuteczność finiszu – tabela 4.5.4.

Tabela 4.5.4.
Podstawowe parametry czasowe

Zmienna	Grupy płotkarzy					ANOVA	Test Tukey'a			
	A (13-14)	B (14-15)	C (13-15)	D (13-14-15)	E (13-14-15)		A	B	C	D
t ₀₋₁	5,99 ± 0,12	6,03 ± 0,14	6,00 ± 0,09	6,01 ± 0,10	5,99 ± 0,14	NS				
t ₁₋₂	3,75 ± 0,09	3,83 ± 0,13	3,77 ± 0,13	3,72 ± 0,11	3,72 ± 0,11	0,000	B	CDE		
t ₂₋₃	3,79 ± 0,10	3,84 ± 0,09	3,80 ± 0,13	3,78 ± 0,14	3,77 ± 0,11	0,000		DE		
t ₃₋₄	3,87 ± 0,09	3,96 ± 0,13	3,88 ± 0,14	3,84 ± 0,12	3,87 ± 0,10	0,000	B	CDE		
t ₄₋₅	3,98 ± 0,09	4,02 ± 0,11	3,95 ± 0,12	3,93 ± 0,11	4,00 ± 0,11	0,000	BD	CD	DE	
t ₅₋₆	4,09 ± 0,09	4,10 ± 0,12	4,08 ± 0,11	4,08 ± 0,12	4,12 ± 0,12	NS				
t ₆₋₇	4,24 ± 0,11	4,22 ± 0,12	4,26 ± 0,14	4,26 ± 0,08	4,23 ± 0,08	NS				
t ₇₋₈	4,37 ± 0,11	4,36 ± 0,11	4,40 ± 0,11	4,35 ± 0,11	4,39 ± 0,09	NS				
t ₈₋₉	4,51 ± 0,12	4,49 ± 0,12	4,53 ± 0,11	4,51 ± 0,11	4,53 ± 0,13	NS				
t ₉₋₁₀	4,63 ± 0,13	4,62 ± 0,13	4,68 ± 0,12	4,68 ± 0,17	4,68 ± 0,16	NS				
t _{10-F}	5,25 ± 0,24	5,34 ± 0,23	5,35 ± 0,30	5,36 ± 0,24	5,42 ± 0,31	0,037	DE			

Potwierdzeniem wyników jednego segmentu plotkarskiego (pojedyncza jednostka plotkarska, =1JP) są zmienne dodawane – 2-4JP. Różnice prędkości biegu pięciu grup plotkarzy dotyczą pierwszej jej części – biegu między plotkami 1-5, bez uwzględnienia dobiegu – tabela 4.5.5.

Tabela 4.5.5.
Parametry czasowe dodawane (wybór)

Zmienna	Grupy plotkarzy					ANOVA	Test Tukey'a			
	A	B	C	D	E		A	B	C	D
	A. Parametry podwójne (2JP/70 m)									
T ₁₋₃	7,54 ± 0,17	7,66 ± 0,18	7,57 ± 0,20	7,50 ± 0,22	7,48 ± 0,20	0,000	B	CDE		
T ₃₋₅	7,85 ± 0,17	7,98 ± 0,21	7,83 ± 0,23	7,78 ± 0,20	7,86 ± 0,18	0,000	BD	CDE		
T ₆₋₈	8,61 ± 0,20	8,58 ± 0,19	8,66 ± 0,21	8,61 ± 0,15	8,61 ± 0,14	NS				
T ₈₋₁₀	9,15 ± 0,22	9,12 ± 0,24	9,21 ± 0,21	9,19 ± 0,24	9,22 ± 0,28	NS				
Także: T ₂₋₄	7,67 ± 0,17	7,80 ± 0,17	7,68 ± 0,23	7,63 ± 0,23	7,63 ± 0,17	0,000	B	CDE		
	B. Trzy jednostki plotkarskie (3JP/115 m))									
T ₁₋₄	11,41 ± 0,23	11,62 ± 0,25	11,45 ± 0,30	11,35 ± 0,31	11,35 ± 0,27	0,000	B	CDE		
T ₄₋₇	12,31 ± 0,24	12,35 ± 0,29	12,30 ± 0,28	12,28 ± 0,24	12,32 ± 0,22	0,721				
T ₇₋₁₀	13,52 ± 0,29	13,48 ± 0,30	13,61 ± 0,27	13,54 ± 0,31	13,60 ± 0,32	0,255				
Także: T ₂₋₅	11,64 ± 0,23	11,82 ± 0,25	11,63 ± 0,32	11,56 ± 0,30	11,62 ± 0,25	0,000	B	CDE		
	C. Cztery jednostki plotkarskie (4JP/150 m))									
T ₁₋₅	15,39 ± 0,29	15,65 ± 0,31	15,39 ± 0,39	15,28 ± 0,38	15,34 ± 0,33	0,000	B	CDE		
T ₆₋₁₀	17,76 ± 0,35	17,70 ± 0,38	17,87 ± 0,34	17,80 ± 0,34	17,83 ± 0,34	0,270				
Także: T ₅₋₉	17,22 ± 0,31	17,18 ± 0,38	17,28 ± 0,33	17,20 ± 0,30	17,26 ± 0,23	0,697				
	D. "Połówki" dystansu									
T _{1200H}	23,13 ± 0,38	23,43 ± 0,41	23,15 ± 0,43	23,04 ± 0,48	23,11 ± 0,45	0,000	B	CDE		
T _{1200H}	25,38 ± 0,47	25,41 ± 0,55	25,56 ± 0,55	25,49 ± 0,48	25,61 ± 0,55	0,183				

Liczbę kroków wykonywanych między kolejnymi płótkami przedstawiono w tabelach 7–8. *Stride pattern* systematycznie wzrasta we wszystkich grupach płótkarzy, jednakże w różnych częściach dystansu i w różnych porcjach. W grupach B, C i D do połowy dystansu „model kroków” jest u wszystkich płótkarzy niezmienny (13-14 kroków). Podobna sytuacja dotyczy ostatniego (n_{9-10}) odcinka między płótkami – tabela 4.5.6.

Tabela 4.5.6.
Podstawowe parametry przestrzenne

Zmienne	Grupy płótkarzy				Test Tukey'a						
	All	A	B	C	D	E	ANOVA	A	B	C	D
n_{1-2}	13,19 ± 0,39	13,00 ± 0,00	14,00 ± 0,00	13,00 ± 0,00	13,00 ± 0,00	13,00 ± 0,00	0,000	B	CDE		D
n_{2-3}	13,19 ± 0,38	13,00 ± 0,00	14,00 ± 0,00	13,00 ± 0,00	13,00 ± 0,00	13,03 ± 0,17	0,000	B	CDE		
n_{3-4}	13,18 ± 0,39	13,00 ± 0,00	14,00 ± 0,00	13,00 ± 0,00	13,00 ± 0,00	13,07 ± 0,18	0,000	BE	CDE	E	E
n_{4-5}	13,22 ± 0,42	13,01 ± 0,11	14,00 ± 0,00	13,00 ± 0,00	13,00 ± 0,00	13,35 ± 0,48	0,000	BE	CDE	E	E
n_{5-6}	13,42 ± 0,59	13,08 ± 0,27	14,14 ± 0,35	13,28 ± 0,70	13,12 ± 0,32	14,00 ± 0,26	0,000	BCE	CD	E	E
n_{6-7}	13,94 ± 0,66	13,58 ± 0,50	14,48 ± 0,51	13,97 ± 1,01	13,88 ± 0,32	14,13 ± 0,34	0,000	BCDE	CDE		
n_{7-8}	14,20 ± 0,71	13,63 ± 0,49	14,93 ± 0,26	14,44 ± 0,91	13,98 ± 0,24	14,61 ± 0,50	0,000	BCDE	CDE	E	
n_{8-9}	14,56 ± 0,55	13,97 ±	15,00 ± 0,00	14,81 ± 0,59	14,63 ± 0,49	14,93 ± 0,25	0,000	BCDE	C	D	
n_{9-10}	14,69 ± 0,46	0,1114,00 ± 0,00	15,00 ± 0,00	15,00 ± 0,00	15,00 ± 0,00	15,00 ± 0,00	–*	BCDE			E

* – brak zmienności między grupami

Największe zmiany *stride pattern* dotyczą drugiej części biegu, między płotkami 5-9 – tabela 4.5.7.

Tabela 4.5.7.
Dodawane parametry przestrzenne (wybór)

Zmienne	Grupy płotkarzy				ANOVA	Test Tukey'a			
	A	B	C	D		E	A	B	C
	A. Dwie jednostki płotkarskie (2JP)								
N1-3	26,03 ± 0,24	28,00	26,00	26,00	0,000	B	CDE		
N3-5	26,01 ± 0,11	28,00	26,00	26,00	0,000	BE	CDE	E	E
N6-8	27,21 ± 0,96	29,41 ± 0,63	28,41 ± 1,72	27,86 ± 0,49	0,000	BCDE	CDE	D	E
N8-10	27,97 ± 0,17	30,00	29,81 ± 0,53	29,63 ± 0,49	0,000	BCDE	BCDE		
	B. Trzy jednostki płotkarskie (3JP)								
N1-4	39,03 ± 0,23	42,00	39,00	39,00	0,000	B	CDE	E	E
N4-7	39,67 ± 0,66	42,62 ± 0,73	40,25 ± 1,44	40,00 ± 0,49	0,000	BCDE	CDE	D	E
N7-10	41,60 ± 0,54	44,93 ± 0,26	44,25 ± 1,31	43,61 ± 0,60	0,000	BCDE	CDE	D	E
	C. Cztery jednostki płotkarskie (4JP)								
N1-5	52,04 ± 0,25	56,00	52,00	52,00	0,000	BE	CDE	E	E
N6-10	55,18 ± 1,01	59,41 ± 0,63	58,22 ± 1,99	57,49 ± 0,81	0,000	BCDE	CDE	D	E

Zmiany *hurdles rhythm* (liczba kroków) następują głównie między 5. a 9. płotkiem. Różnice międzygrupowe są wyraźne: grupy A i C – h₆₋₇ i h₈₋₉, grupy B i C – h₆₋₇ i h₇₋₈ oraz grupa E – h₅₋₆ i h₇₋₈ – tabela 4.5.8.

Tabela 4.5.8.

Miejsca zmian „rytmu” kroków w grupach płotkarzy o zróżnicowanej strategii biegu

Miejsce zmian	A	B	C	D	E	Cała grupa
	13-14	14-15	13-15	13-14-15	13-14-15	
h ₂₋₃	0	0	0	0	0	0
h ₃₋₄	0	0	0	0	2	2
h ₄₋₅	1	1	0	0	8	10
h ₅₋₆	4	5	6	7	21	43
h ₆₋₇	39	14	15	37	5	110
h ₇₋₈	4	19	10	6	14	53
h ₈₋₉	25	3	8	32	11	79
h ₉₋₁₀	3	0	4	19	2	28
Razem	76	42	43	102	62	325

Przyjęcie wybranego *stride pattern* determinuje bieg przez płotki jedną (lepszą, dominującą) nogą atakującą lub pokonywanie płotków na przemian kończyną lewą i prawą. W przypadku grup A, C, D i E obowiązuje pierwszy wariant; tylko w grupie B większa część biegu odbywa się w „rytmie” parzystym (14 kroków). W sumie proporcje udziału kończyny dominującej (zwykle lewej) i kończyny „słabszej” wynoszą ok. 30/70%. Proporcje zmieniają się w pięciu analizowanych grupach płotkarzy – tabela 4.5.9.

Tabela 4.5.9.

Wartości procentowe jednostek płotkarskich pokonywanych w „rytmie” nieparzystym i parzystym

Zmienna	A	B	C	D	E	ANOVA			
	13-14	14-15	13-15	13-14-15	13-14-15	A	B	C	D
„Rytm” nieparzysty (13 lub 15)	63,60 ±12,52	41,01 ±10,83	100,00 ±6,78	74,29 ±7,86	69,18 ±13,06	BCDE	CDE	DE	
„Rytm” parzysty (14)	36,40*	58,99	0,00	29,71	30,82	BCDE	CDE	DE	
Proporcje (N/P)	2,21 ±1,45	0,17 ±0,36	-	2,50 ±1,26	2,24 ±1,71	B	DE	-	

*SD – jak wyżej

Dyskusja

Bieg na 400mH to według wielu autorytetów trenerskich i naukowych dyktans łączący wszystkie wymagania konkurencji lekkoatletycznych w zakresie zdolności wysiłkowych (przygotowanie motoryczne), z koniecznością

opanowania złożonej techniki ruchu (zdolności koordynacyjne) – Lindeman 1995, Quercetani 2009, Boyd 2011, Iskra 2013).

Przygotowanie motoryczne na dystansie 400mH obejmuje wszystkie składowe klasycznego podziału – szybkość-siła-wytrzymałość, z istotnym dodatkiem gibkości, jako specyficznej funkcji organizmu człowieka (Iskra 2012).

Badania dotyczące wysiłku biegowego na dystansie 400mH dowiodły, że w aspekcie wysiłku startowego decydujące znaczenie mają przemiany o charakterze glikolitycznym (Gupta i wsp. 1999, Zauhal i wsp. 2010). Analizy naukowe dowiodły również, że dystans 400mH jest mniej obciążający energetycznie niż klasyczny bieg na 400m, dlatego też należy traktować go w sposób specyficzny, z koniecznym uwzględnieniem elementów biegu między płótkami. Prawdopodobnie przyczyna tej różnicy jest stała konieczność kontroli przebiegu rywalizacji, sumarycznie ograniczającej się do wyboru *stride pattern*, czyli liczby kroków wykonywanych w kolejnych (dziewięciu) odległościach między płótkami (Ward-Smith 1997, Kłapcińska i wsp. 2001).

Wielokrotne analizy przebiegu rywalizacji w biegu na 400mH skupiają się na dwóch elementach: *split times* and *stride pattern*. Pierwszy z nich określany jest jako parametr czasowy w biegu przez płótki, drugi jako parametr przestrzenny (Hay i Schoebel 1990).

Analiza strategii biegu na 400mH mężczyzn reprezentujących wysoki poziom sportowy pozwala na wyodrębnienie pięciu podstawowych typów *stride pattern* (Iskra i Walaszczyk 2007, Iskra 2008, Iskra i wsp. 2015). W publikacjach Lindemana (1995) i Boyda (2011) zarówno *single alternate* jak i *paired alternate* uważane są jako podstawowe w grupach najlepszych zawodników świata. W niektórych źródłach „double step down” (13-15) uważany jest jako wzorzec historyczny, natomiast *constans* (rytm 13-krokový) jako najbardziej pożądaný (McFarlane 2004, Iskra i Coh 2011).

Jednym z elementów wyboru *stride pattern* jest budowa ciała, a przede wszystkim wysokość ciała. Płótkarze wysocy wybierają „rytm” 13-14, niscy – 14-15 – tabela 3. Taki wybór jest w pełni uzasadniony i popierany przez trenerów (Lindeman 1995, McFarlane 2004, Hisermann 2011, Iskra 2013). Analiza potwierdziła konieczność gwałtownej zmiany liczby kroków (z 13 na 15) u płótkarzy stosunkowo niskiego wzrostu (grupa E – 183,55 ± 5,56 cm). Taki wybór dotyczył głównie płótkarzy startujących jeszcze w XX wieku (Wallechinsky i Loucky 2012).

Wybór *stride pattern* nie jest uwarunkowany poziomem przygotowania motorycznego, głównie tzw. wytrzymałością anaerobową. Zdolność ta nie różnicuje grup zawodników, lecz z całą pewnością wpływa na koncepcje treningowe (Iskra 2012).

Miarą techniki pokonywania płótków jest Indeks Techniki (TI) – McFarlane 2004, Behm 2014. Dane dowodzą, że płótkarze grupy A wykazują najlepsze przygotowanie techniczne, natomiast najgorszy wskaźnik mają

zawodnicy „jednonożni” z grupy C (13-15). Potwierdza to niekorzystny, podwójny (13-15) wzrost liczby kroków, utrudniający płynne pokonanie następnej przeszkody. Taka strategia biegu jest szczególnie ryzykowna w zmiennych warunkach wietrznych (Quinn 2010).

Miejsca zmian liczby kroków, a tym samym zmiany nogi atakującej są charakterystyczne dla drugiej części dystansu. W tej części biegu następują niekorzystne zmiany fizjologiczne, ze znacznym wzrostem stężenia mleczanu (Gupta i wsp. 1999, Zauchal i wsp. 2010). Zmęczenie o charakterze anaerobowym powoduje zmniejszenie długości kroku biegowego, co w konsekwencji doprowadza do zmiany „*stride pattern*” (Iskra 2008, Guex 2012). Każda z analizowanych grup ma specyficzne miejsce zmian „rytmu”, które w zasadniczy sposób determinuje sposób treningu technicznego. Dane wskazują na akcentowanie drugiego wirażu – ta część dystansu wydaje się newralgiczna w przygotowaniu płotkarzy wysokiego poziomu (Hinserman 2011, Iskra 2013, St Paul 2013).

Przebieg biegu oceniany czasami kolejnych segmentów plotkarskich (od t_{1-2} do t_{9-10}) sugeruje stopniowe obniżanie prędkości biegu – tab. 4. W pracach analizujących pojedyncze zawody sportowe często odcinki spadku prędkości biegu przesuwa się do odcinka t_{2-3} (Bruggeman i Müller 1999, Ditroilo i Marini 2000, Grubner i Nixdorf 2011). W ww. źródłach uwzględnia się jednak elitarną grupę płotkarzy, która pokonuje cały dystans w „rytmie” 13-krokowym (=wszyscy ostatni rekordziści świata) – Quercetani (2009), Wallechinsky i Loucky (2012). Analiza struktury czasowej biegu wskazuje na różnice między grupami wyłącznie w pierwszej części dystansu (t_{1-2} – t_{4-5}) – tabela 4.5.4. Płotkarze dwukrotnie zwiększający liczbę kroków (grupy D i E) rozpoczynają bieg w szybszym tempie. Taka sytuacja utrzymuje się do 5. płotka, kiedy następuje pierwsza zmiana liczby kroków – tabele 4.5.4 i 4.5.5. Z punktu widzenia szkolenia sportowego wymagania treningowe dotyczące biegu na tym odcinku obejmują tzw. wytrzymałość rytmową średnią (Iskra 2012, 2013). W drugiej części biegu (t_{5-10}) różnice międzygrupowe są nieistotne statystycznie, jednakże różnice na finiszu biegu (40 m bez płotków) zróżnicowanie jest znaczne. Grupy D i E są najwolniejsze, natomiast zdecydowanie najszybciej odcinek ten pokonują płotkarze z grupy A. Analiza struktury czasowej biegów na 400mH rozgrywanych w czasie najważniejszych zawodów rangi mistrzowskiej pokazuje istotne znaczenie odcinka finiszowego (t_{10-F}), jednakże nie wskazuje na jego przyczyny (liczne przykłady podano w pracy Iskry z 2012 r.). jedna z przyczyn jest konieczność zmiany *stride pattern*, różna w grupach A-E. Odcinki bez konieczności pokonywania płotków (dobieg i wybieg) mają zróżnicowane znaczenie w całościowej strukturze czasowej biegu. Odcinek biegu do pierwszego płotka we wszystkich grupach jest podobny, odcinek finiszu zdecydowanie różnicuje grupy ze wskazaniem na grupę A. Wielu autorów uważa, że właśnie ostatnie 40 m

decyduje o sukcesie w biegu na 400mH (Vittori 1998, Otsuka i Isaka 2019). Pogląd ten ma jednak wielu przeciwników (Iskra 2012).

Struktura czasowa biegu 400mH ma ścisły związek z wyborem i realizacją *stride pattern*. Analiza wykazała, że różnice międzygrupowe wynikają ze zmian liczby kroków w środkowej części dystansu (N₃₋₈) – tabela 4.5.7. Konieczność pokonywania pierwszej części dystansu rytmem 13-krokovym jest we współczesnym biegu na 400mH obowiązującym standardem (Ditroilo i Marini 2000, Wallechinsky i Loucky 2012).

Jedynie przedstawiciele grupy B wykorzystują w początkowej fazie bieg 14 krokami – tabela 4.5.6. Najczęściej różnice między grupami płotkarzy obserwuje się na drugim wirażu – między 6. a 8. płotkiem. Na tym odcinku najczęściej następują zmiany rytmu kroków, bez względu na przyjętą koncepcję *stride pattern*.

Analiza danych sugeruje jednoznaczne wskazania aplikacyjne – zmiany *stride pattern* odbywają się w drugiej części biegu, co implikuje konkretne rozwiązania treningowe (Iskra i Coh 2011, Iskra 2012). W aspekcie ostatniego segmentu płotkarskiego (n₉₋₁₀) – płotkarze na najwyższym światowym poziomie mają tę część biegu ustabilizowaną i niezmienną, bez konieczności eksperymentowania w sytuacji finiszowych metrów realizowanych przy wysokim zmęczeniu wysiłkiem anaerobowym.

Wnioski:

1. Typy *stride pattern* determinują przebieg rywalizacji (*paceing strategy*) w biegu na 400mH
2. Przyjęta strategia biegu na 400mH determinuje istotne różnice struktury czasowej pierwszej części biegu oraz struktury przestrzennej w jego drugiej części.
3. Maksymalne wykorzystanie potencjału motorycznego zapewnia wariant 13-14-krokovy. Płotkarze tej grupy są najwyżsi, co może mieć istotne znaczenie w procesie selekcji.
4. Różnice decydujące o strategii czasowej w biegu 400mH dotyczą odległości od pierwszego do piątego płotka. Na tym odcinku czasową przewagę mają płotkarze z grupy zmieniający rytm kroków dwukrotnie (13-14-15).
5. Strategie biegu na 400mH determinują przyjęte koncepcje „*stride pattern*”. Liczba kroków ma szczególne znaczenie w drugiej części dystansu, głównie na odcinku między 6. a 8. płotkiem.
6. Każdy z przyjętych wzorców *stride pattern* ma swoje miejsce w biegu na 400 mH na światowym poziomie. Każda z koncepcji jest jednak inna i wymaga odrębnego uwzględnienia w procesie szkolenia.

Wnioski aplikacyjne:

1. Należy uświadamiać młodym płotkarzom, że wybór indywidualnego *stride pattern* pośrednio determinuje strategię czasową biegu.
2. Budowa ciała i poziom zdolności motorycznych ma istotny wpływ na przyjętą strategię kroków”.
3. Opracowania indywidualnego *stride pattern* i ćwiczeń specjalnych potrzebnych do ćwiczeń specjalnych w zakresie tego fragmentu biegu dotyczy przede wszystkim drugiej („zmęzeniowej”) części biegu.
4. W treningu technicznym płotkarzy na 400 m ok. 30% zajęć z zakresu treningu technicznego należy przeznaczyć na ćwiczenia słabszej nogi atakującej. Proporcje te mogą się zmieniać, w zależności od koncepcji *stride pattern*.

Piśmiennictwo (szczegóły na końcu publikacji)

- Babić V., Borcić L., Katovic D. 2014.
Beckenham M., Rosemond D. 2006.
Behm J.J. 2014.
Boyd R. 2011.
Brice P. 2018.
Brüggeman G.P., Susanka P. 1988.
Brüggemann G.P., Müller H. 1999.
Ditroilo, M., Marini M. 2000.
Graubner R., Nixdorf E. 2011.
Greene D., Leyshon W., O'Donoghue P.G. 2008.
Guex K. 2012.
Gupta S., Goswami A., Mukhopodhayay S. 1999.
Hannon C., Thomas C. 2011.
Hay, L., Schoebel, P. 1990.
Hiserman J. 2011.
Iskra J. 2008a, Iskra J. 2012a, Iskra J. 2013a, Iskra J. 2019.
Iskra J. Čoh M. 2006
Iskra J., Pietrzak M., Paruzel-Dyja M. 2015.
Iskra J., Walaszczyk A. 2007.
Kłapcińska B., Iskra J., Poprzecki S., Grzesiok K. 2001.
Lindeman R. 1995.
McFarlane B. 2004.
O'Donoghue P. 2010.
Otsuka M., Isaka T. 2019.
Ozaki Y., Ueda T., Fukuda T., Inai T., Kido E., Narisako D. 2019.
Pietrzak M., Iskra J. 2016.
Quercetani R.L. 2009.

Quinn M.D. 2010.
St Paul D. 2013.
Vittori C. 1998.
Ward-Smith A.J. 1997.
Wallechinsky D., Loucky J. 2012.
Zauhal H., Jabbour G., Jacob C., Duvigneau D., Botcazou M., Abderrahman A., Prioux J., Moussa E. 2010.

4.6. Zmiany strategii biegu na 400 m przez płotki po 3 sierpnia 2021 roku

Tytuł oryginału: „Changes in the 400 m hurdle run strategy after August 3, 2021 – revolution or just a progress”

W: *“Atletika 2022. Sportovy Trening v Atletikie”*,
Univerzita Komenskeho, Bratislava, 20–29

Autorzy: *Janusz Iskra, Ryszard Marcinów, Anna Walaszczyk*

Pytanie:

- | |
|---|
| 1. Czy wyniki biegu na 400 m przez płotki w czasie Igrzysk Olimpijskich w Tokio (2021) zmieniły ocenę strategii tego biegu? |
|---|

Wprowadzenie

Dzień 3 sierpnia 2021 roku stał się kamieniem milowym w historii biegu na 400 m przez płotki mężczyzn i jednym z największych wydarzeń w historii lekkoatletyki. Na stadionie w Tokio, w finale olimpijskim rozegranym o wczesnym (jak na lekkoatletów) wtorkowym poranku o 9:00, przewartościowano wszystkie spekulacje i naukowe analizy.

Tabela 4.6.1.

Wyniki biegu finałowego na 400 m przez płotki na igrzyskach Olimpijskich w 2021 r.

Miejsce	Tor	Imię	Nazwisko	Kraj	RT	Wynik	Uwagi
1	6	Karsten	Warholm	NOR	0,145	45,94	Rekord świata
2	5	Rai	Benjamin	USA	0,168	46,17	Rekord Ameryki Pół.
3	7	Alison	dos Santos	BRA	0,156	46,72	Rekord Ameryki Płd.
4	4	Kyron	McMaster	BVI	0,157	47,08	Rekord kraju
5	8	Abderrahman	Samba	QAT	0,186	47,12	Wynik sezonu
6	3	Yasmani	Copello	TUR	0,166	47,81	=Rekord kraju
7	9	Rasmus	Mägi	EST	0,167	48,11	Rekord kraju
8	2	Alessandro	Sibilio	ITA	0,144	48,77	

Po biegu zmieniły: rekord świata (poprawa aż o 0,76 s), rekord Ameryki Północnej i Południowej, kolejne 3 rekordy kraju, a siódmy na mecie Estończyk Rosmus Magi bijąc rekord kraju uzyskał lepszy wynik niż rezultat „epokowego” wydarzenia z Igrzysk Olimpijskich w Meksyku z 1968 roku (rekord

świata 48,12 s Hemery’ego). Ponadto, w biegu finałowym uczestniczyli biegacze z egzotycznych (z punktu widzenia lekkiej atletyki) nacji.

Indywidualna analiza przebiegu kariery sportowej finalistów Igrzysk w 2021 r.

Tabela 4.6.2.

Sprawność motoryczna pięciu najlepszych płotkarzy okresu 2018–2021

Płotkarz	400 H	Sprawność motoryczna					Inne
		100	200	400	400i	110 H	
Warholm K.	45,94	10,52 (10,49i)	21,09 (20,91i)	44,87	45,05i	14,30	7764 pkt 10-bój w dal 7,66 m
Benjamin R.	46,17	10,03	19,99	44,31	45,39i	-	-
dos Santos A.	46,72	-	21,96	44,54	-	-	-
Samba A.	46,98	-	21,17	44,60	-	-	-

Warholm urodziła się w małym miasteczku w Ulsteinvik, nad jednym z fiordów Morza Norweskiego. Benjamin to rodowity Nowojorczyk, jednakże w wieku Kadeta (17 lat) reprezentował Antiguę i Barbudę (nie zakwalifikował się do finału). Czwarty na mecie Kyron McMaster reprezentuje Brytyjskie Wyspy Dziewicze a piąty Abderrahman Samba urodził się w Arabii Saudyjskiej jako młody zawodnik reprezentował Mauretanię a dalszą karierę kontynuuje w Katarze.

Wszyscy najlepsi płotkarze to płotkarze młodzi (21–25 lat) o podobnych, znaczących warunkach fizycznych (wysokość ciała 187–191 cm, masa ciała 75–79 kg).

Tabela 4.6.3.

Budowa ciała i przebieg mistrzostwa sportowego finalistów Igrzysk Olimpijskich w Tokio 202/21

	400 H	17	19	BH	BW	Ur	Wiek
Warholm K.	45,94	52,18 (18 lat)	51,09	187	78	1996	25
Benjamin R.	46,17	51,86	49,82	191	77	1997	24
Dos Santos A.	46,72	53,82	48,28	190	75	2000	21
Samba A.	46,98	-	48,31 – (22 lata)	187	75	1995	23
McMaster K.	47,08	53,26 (52,85)	49,58	187	79	1997	24

Każdy z wymienionej „piątki” ma jednak inną historię kariery sportowej.

Warholm to mistrz świata kadetów w ośmioboju (2013). W 2015 roku na Mistrzostwach Świata Juniorów organizowanych w Szwecji (Eskilstuna)

Warholm zdobył dwa srebrne medale na 400 m (46,50 s) i w 10-boju (7764 pkt). Pierwsze próby Norwega na 400 m przez płotki nastąpiły w 18. roku życia (52,50 s), a w wieku 20 lat zajął 6. miejsce na Mistrzostwach Europy w Amsterdamie (49,82 s). Na Igrzyskach w Rio de Janeiro nie wszedł do finału (48,81 s), jednakże już w następnym roku został po raz pierwszy mistrzem świata (48,35 s) i (dodatkowo) młodzieżowym mistrzem Europy w Bydgoszczy (48,37 s). W latach 2019–2020–2021 był hegemonem tego dystansu.

Rai (imię) Benjamin początki kariery sportowej wiązał z reprezentacją Antigui i Barbudy, dla której w 2015 r. (18 lat) zdobył srebrny medal na 400 m na tradycyjnych igrzyskach *CARIFTA Games* (46,19 s). Wcześniej, w wieku 16 lat odpadł w półfinale Mistrzostw Świata Kadetów w Doniecku w biegu na 400 m przez płotki (52,36 s, 84 cm). Po powrocie do Stanów Zjednoczonych Benjamin rozpoczął karierę sportową właśnie w tej konkurencji, poprawiając znacząco kolejne rekordy sezonów: 2017 r. – 48,33 (+1,49 s), 2018 r. – 47,02 (+1,31 s), 2019 r. – 46,98 s i w 2021 r. – 46,17 s.

Aliston Brendom Alves dos Santos w 10. tygodniu życia przeżył ciężkie poparzenie głowy, czego ślad został do dnia dzisiejszego. W 2017 roku w Nairobi, biegnąc przez niskie płotki, na Mistrzostwach Świata Kadetów uzyskał 53,98 s i zajął 5. miejsce. W wieku 18 lat zdobył brązowy medal na Mistrzostwach Świata Juniorów w Tampere (49,78 s). Jeszcze w kategorii juniora stał się czołowym zawodnikiem świata, zwyciężając na Mistrzostwach Ameryki Południowej na Igrzyskach Panamerykańskich i Uniwersjadzie w Neapolu. Pandemia przerwała jego rozwój, ale w 2021 r. w Tokio zdobył brązowy medal, z czwartym wynikiem w historii światowej lekkoatletyki.

Urodzony w stolicy British Virgin Islands (Road Town, Tortila) Kyron McMaster pierwsze międzynarodowe starty rozpoczął na Mistrzostwach Ameryki Centralnej i Karaibów U18 w wieku 15 lat. (7. miejsce w skoku wzwyż i 12 miejsce na 400 m). W wieku 16 lat uzyskał zaledwie 62. czas na 200 m w czasie Mistrzostw Świata Kadetów w Doniecku (22,55 s). W wieku 17 lat rozpoczął specjalizację na 400 m przez płotki – od razu od sukcesów (m.in. brązowy medal na Mistrzostwach Świata Juniorów w Bydgoszczy w 2016 r.) W tym czasie trafiały się także dyskwalifikacje za nieregularne przekroczenie toru (*Youth Olympic Games* w 2014 r. i Mistrzostwa Świata w 2017 r.). Między 19. a 20. Rokiem życia poprawił się z 49,56 s na 47,80 s.

Abderrahman Samba (Arabia Saudyjska – Mauretania – Katar) międzynarodową karierę rozpoczął późno, po 20. roku życia. W wieku 21 lat był średniej klasy sprinterem (200 m – 21,17 s, 400 m – 46,04 s), by w następnym roku uzyskać 44,62 s na 400 m przez płotki). Po następnych 12 miesiącach Samba uzyskał, jako drugi (po rekordzie świata Karina Younga) w historii wynik poniżej 47 s (46,98 s).

Różnorodne strategie biegu przedstawiono w tabeli 4.6.4 – wg Dubail i Sylvian (2021) „4H World”). Nawet ten sam płotkarz (Warholm) na różnych imprezach prezentuje różne strategie biegu.

Tabela 4.6.4.

Stride pattern w wykonaniu najlepszych zawodników świata w latach 2017–2021

Rok/impreza	Zawodnik	Liczba kroków w kolejnych JP									Typ
		1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	
2017/WG	Warholm	13	13	13	13	13	13	13	13	15	B
	Capello	13	13	13	13	13	14	14	14	14	C
	Clement	13	13	13	13	13	13	13	13	14	14
2018/EC	Warholm	13	13	13	13	13	13	13	13	15	B
	Copello	13	13	13	13	13	13	14	14	14	C
	Barr	13	13	13	13	13	13	14	14	15	D
2019/WC	Warholm	13	13	13	13	13	13	13	13	15	B
	Benjamin	13	13	13	13	13	13	13	13	13	A
	Samba	13	13	13	13	13	13	13	14	14	C
	McMaster	13	13	13	13	13	14	14	14	14	C
2021/OG	Warholm	13	13	13	13	13	13	13	13	15	B
	Benjamin	13	13	13	13	13	13	13	13	13	A
	Dos Santos	13	13	12	12	13	13	13	13	13	E
	McMaster	13	13	13	13	13	14	14	14	14	C
	Samba	13	13	13	13	13	13	13	14	14	C
Warholm	(20)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	A
	(20)	13	13	13	13	13	13	13	13	15	B
	(20)	13	13	13	13	13	13	13	13	15	B
	(19)	13	13	13	13	13	13	13	13	15	B
	(20)	13	13	13	13	13	13	13	15	15	B
	(20)	13	13	13	13	13	13	13	13	15	B
	(21)	13	13	13	13	13	13	13	13	15	B

Typologia „rytmu” biegu: A – 13, B – 13-15, C – 13-14, D – 13-14-15, E – 13-12-13

Materiał (analiza empiryczna)

W analizie uwzględniono 67 indywidualnych startów najlepszych płotkarzy uczestniczących w finałowych biegach trzech najważniejszych zawodach lekkoatletycznych z lat 2013–2021.

Tabela 4.6.5

Grupy najlepszych płotkarzy z dwóch okresów

Grupa/Impreza	Grupa I (2013–2016) n = 30	Grupa II (2017–2021) n = 37
Igrzyska olimpijskie	2016 Rio de Janeiro	2020/2021 Tokio
Mistrzostwa Świata	2013 Moskwa	2017 Londyn
	2015 Pekin	2019 Doha
Mistrzostwa Europy	2016 Amsterdam	2018 Berlin

Metoda

W analizie wykorzystano następujące parametry:

A. Zmienne podstawowe: wynik w biegu na 400 m (T400H), czas biegu wyłączenie między płotkami (T1-10H), rekord życiowy w biegu na 400 m (bez płotków) – T400(PB), Wskaźnik Poziomu Techniki (WPT = T400H-T400), wiek uzyskanie wyniku (Age), wysokość ciała (BH), masa ciała (BW), BMI – tabela 7.

B. Podstawowe zmienne czasowe – czasy kolejnych 11 części biegu (od t_{0-1} to t_{10-F}) – tabela 8.

C. Sumy, różnice i wartości procentowe zmiennych czasowych (w sumie 23 parametry).

D. Parametry przestrzenne – liczba kroków w poszczególnych częściach biegu (16).

E. Parametry rytmowe – udział prawej i lewej.

W ocenie różnic międzygrupowych zastosowano analizę wariancji (ANOVA).

Wyniki

Tabela 4.6.6.

Różnice wybranych parametrów podstawowych w grupach płotkarzy z lat 2013–2016 (grupa A; n = 30) oraz 2017–2021 (grupa B; n = 37)

Zmienna	J.m.	Grupa	Podstawowe statystyki			ANOVA	
			\bar{x}	SD	Min-max	t	p
T400H	s	A	48,75	0,75	47,69–50,14	10,19	0,001***
		B	48,11	0,87	45,94–49,46		
T1-10H	s	A	37,43	0,64	36,40–38,52	10,03	0,002**
		B	36,91	0,69	35,20–38,08		
T400 (PP)	s	A	46,24	0,88	44,43–47,78	5,73	0,020*
		B	45,73	0,85	44,31–47,21		
WPT*	s	A	1,93	0,60	1,00–3,35	6,60	0,013**
		B	2,39	0,86	0,94–4,04		
Age	lata	A	25,24	3,77	20–36	0,11	0,738
		B	24,93	3,75	19–34		
BH	cm	A	188,27	6,25	175–198	0,08	0,780
		B	187,90	4,02	180–196		
BW	kg	A	77,64	5,58	68–87	0,23	0,635
		B	77,03	4,80	67–86		
BMI		A	21,89	1,31	19,33–24,33	0,10	0,750
		B	21,80	0,83	19,94–23,77		

*- Uwzględniono jedynie tych płotkarzy, którzy biegali dystans 400 m (bez płotków)

Różnica poziomu wyników w okresach do i po 2016 roku jest znaczna ($p \leq 0,001$). Świadczy to ważnym przełomie w rozwoju wyników w biegu na 400 m przez płotki. Płotkarze z lat 2017–2021 wyraźnie biegają lepiej

między płótkami (T1-10H) i są istotnie ($p \leq 0,02$) lepiej przygotowani na dystansie 400 m (bez płótków). Przygotowanie motoryczne w obszarze wytrzymałości beztlenowej, charakteryzuje płótkarzy na 400 m z ostatnich, rekordowych lat. Poziom sportowy na dystansie 400 m wydaje się podstawą współczesnego biegacza na 400 m przez płótki.

Wobec powyższego przygotowanie techniczne, oceniane WPT (wskaźnikiem poziomu techniki) jest gorsze niż u płótkarzy sprzed 2017 r. ($p \leq 0,013$).

Budowa ciała nie różnicuje obydwu grup. Wysokość i masa ciała obydwu grup jest podobna – modelowe dane to 188 cm i 77 kg.

Tabela 4.6.7.

Czasy podstawowych jednostek płótkarskich w dwóch grupach

Zmienna	Grupa A			ANOVA	
	\bar{x}	SD	Min-max	t	p
t ₀₋₁	6,01	0,09	5,74–6,17	3,56	0,063
	5,96	0,16	5,70–6,24		
t ₁₋₂	3,74	0,09	3,56–3,92	4,33	0,041*
	3,69	0,10	3,52–3,88		
t ₂₋₃	3,80	0,09	3,64–3,96	3,59	0,062
	3,76	0,11	3,52–3,96		
t ₃₋₄	3,88	0,12	3,68–4,12	7,26	0,009**
	3,81	0,10	3,60–4,00		
t ₄₋₅	3,97	0,10	3,83–4,16	2,78	0,101
	3,93	0,08	3,68–4,08		
t ₅₋₆	4,10	0,07	3,96–4,28	2,22	0,141
	4,07	0,09	3,76–4,28		
t ₆₋₇	4,25	0,10	4,08–4,48	0,45	0,505
	4,24	0,09	4,07–4,44		
t ₇₋₈	4,39	0,10	4,12–4,56	3,84	0,054
	4,34	0,13	4,04–4,61		
t ₈₋₉	4,57	0,12	4,32–4,92	5,16	0,026*
	4,50	0,13	4,16–4,80		
t ₉₋₁₀	4,70	0,14	4,48–5,04	14,71	0,000***
	4,57	0,15	4,32–4,97		
t _{40-F}	5,31	0,21	4,92–5,84	1,73	0,193
	5,24	0,19	4,96–5,79		

Strategia czasowa biegu na 400 m przez płótki w podstawowej wersji dotyczy czasu pokonywanie kolejnych części biegu. Najlepsi płótkarze ostatnich lat pierwszą odległość między płótkami (h1-2) by zdecydowanie zaakcentować dystans między 3. (115 m) a 4. (150 m) – $p \leq 0,009$). Po okresie podobnej struktury biegu między 4. a 8. płótkiem (drugi wiraż) najlepsi płótkarze z lat 2017–2021 zdecydowanie szybciej biegają dystans na ostatniej prostej, z akcentem na ostatni odcinek między płótkami (h9-10) – $p \leq 0,000$). A więc, decydujące znaczenie w postępie wyników na dystansie

400 m przez płotki druga, część pierwszego wirażu i ostatnia, finiszowa prosta.

Tabela 4.6.8.

Czasowe parametry dodawane w dwóch grupach płotkarzy

Zmienna	Grupa	Grupa A			ANOVA	
		\bar{x}	SD	Min-max	t	p
T ₀₋₅	A	21,41	0,40	20,62-22,28	5,90	0,018*
	B	21,15	0,49	20,06-22,00		
T ₁₋₅	A	15,40	0,34	14,84-16,12	5,68	0,020*
	B	15,19	0,40	14,36-15,84		
T ₆₋₁₀	A	17,92	0,35	17,16-18,64	8,73	0,004**
	B	17,65	0,41	16,72-18,67		
T ₃₋₄	A	11,43	0,26	11,00-12,00	6,24	0,015*
	B	11,26	0,29	10,68-11,76		
T ₄₋₇	A	12,32	0,20	12,00-12,76	2,66	0,108
	B	12,24	0,22	11,68-12,56		
T ₇₋₁₀	A	13,67	0,31	13,08-14,32	10,35	0,002**
	B	13,41	0,35	12,60-14,30		
T _{I 200H}	A	23,17	0,42	22,35-24,08	5,86	0,018*
	B	22,90	0,51	21,74-23,75		
T _{II 200H}	A	25,57	0,50	24,74-26,75	7,48	0,008**
	B	25,22	0,56	24,10-26,83		
T _{II 200H - T_I 200H}	A	2,40	0,54	1,25-3,60	0,31	0,574
	B	2,32	0,63	1,38-4,21		
T _{4-7 - T₁₋₄}	A	0,90	0,18	0,40-1,24	3,00	0,087
	B	0,98	0,22	0,63-1,60		
T _{7-10 - T₄₋₇}	A	1,35	0,29	0,76-1,96	6,66	0,012**
	B	1,17	0,27	0,68-1,83		
T _{7-10 - T₁₋₄}	A	2,24	0,31	1,64-2,82	1,08	0,301
	B	2,16	0,41	1,64-3,43		

Podział na większe części dystansu dowodzi wyjątkowego znaczenia drugiej części biegu między płotkami (T₆₋₁₀), z akcentem na ostatnią 1/3 biegu międzypłotkowego (T₇₋₁₀). W sumie o wzroście poziomu w biegu na 400 m przez płotki w latach 2017–2021 decyduje druga część biegu (T_{II200H}).

Analizując różnice czasu biegu w pierwszej i drugiej jego części nie stwierdzono istotnych statystycznie wyników; jedyną istotną informacją dotyczy najmniejszych różnic czasu biegu między ostatnią i środkową częścią biegu (T₇₋₁₀-T₄₋₇, p ≤ 0,012)

Tabela 4.6.9.

Wartości procentowe podstawowych zmiennych czasowych (= rozkład tempa) w dwóch grupach płotkarzy (%)

Zmienna	Grupa I			ANOVA	
	\bar{x}	SD	Min-max	t	p
% t ₀₋₁	12,34	0,21	11,80-12,89	0,60	0,440
	12,38	0,22	12,00-12,79		
% t ₁₋₂	7,67	0,15	7,39-8,02	0,00	0,951
	7,67	0,16	7,28-7,96		
% t ₂₋₃	7,80	0,13	7,52-8,02	0,04	0,846
	7,81	0,17	7,28-8,08		
% t ₃₋₄	7,97	0,17	7,70-8,32	1,34	0,252
	7,93	0,15	7,42-8,17		
% t ₄₋₅	8,14	0,15	7,82-8,47	0,86	0,358
	8,17	0,11	7,95-8,41		
% t ₅₋₆	8,42	0,12	8,10-8,63	2,19	0,144
	8,46	0,13	8,14-8,74		
% t ₆₋₇	8,72	0,20	8,31-9,10	3,19	0,078
	8,80	0,15	8,43-9,20		
% t ₇₋₈	9,02	0,14	8,64-9,31	0,02	0,878
	9,01	0,17	8,75-9,45		
% t ₈₋₉	9,38	0,16	8,99-9,88	0,39	0,543
	9,35	0,20	8,94-9,78		
% t ₉₋₁₀	9,65	0,20	9,34-10,10	6,88	0,011**
	9,50	0,26	8,94-10,05		
% t _{10-F}	10,88	0,39	10,00-11,90	0,00	0,948
	10,89	0,39	10,18-11,71		

Z punktu widzenia strategii biegu istotnym wydaje się ocena procentowego udziału kolejnych odcinków w końcowym czasie biegu. Wstępna analiza nie wykazała możliwości wykorzystania tych parametrów w praktycznej ocenie strategii biegu. Porównanie dwóch grup wykazało jedną ważną informację – w grupie najlepszych płotkarzy największe różnice udziału procentowego dotyczą odcinka %t₉₋₁₀ ($p \leq 0,011$). A więc – najmniejsze (w ujęciu procentowym) straty na końcowym odcinku między 9. a 10. płotkiem to klucz do sukcesów w biegu na 400 m przez płotki.

Tabela 4.6.10.

Parametry przestrzenne (liczba kroków) w dwóch grupach płotkarzy

Zmienna	Grupa				ANOVA	
					t	p
n ₁₋₂	A	13,10	0,39	13-15	0,92	0,341
	B	13,03	0,18	13-14		
n ₂₋₃	A	13,08	0,28	13-14	0,66	0,420
	B	13,03	0,18	13-14		
n ₃₋₄	A	13,00	0,24	13-14	0,24	0,625
	B	12,97	0,32	12-14		

n4-5	A	13,05	0,23	13-14	1,69	0,198
	B	12,97	0,32	12-14		
n5-6	A	13,35	0,59	13-15	3,21	0,077
	B	13,13	0,35	13-14		
n6-7	A	13,84	0,60	13-15	12,63	0,000***
	B	13,33	0,55	13-15		
n7-8	A	14,05	0,66	13-15	3,04	0,086
	B	13,77	0,68	13-15		
n8-9	A	14,38	0,54	13-15	8,42	0,005**
	B	13,97	0,62	13-15		
n9-10	A	14,49	0,51	13-15	0,00	0,948
	B	14,23	0,62	13-15		
Parametry dodawane i różnice						
N1-4	A	39,19	0,70	38-42	0,91	0,342
	B	39,03	0,61	38-42		
N4-7	A	40,24	1,14	39-43	9,27	0,003**
	B	39,43	1,00	38-43		
N7-10	A	42,92	1,47	41-45	6,44	0,014*
	B	41,97	1,59	39-45		
N1-5	A	52,24	0,86	51-56	1,25	0,267
	B	52,00	0,91	50-56		
N6-10	A	56,76	1,91	54-60	9,40	0,003**
	B	55,30	1,97	52-60		
N1-10	A	122,51	2,88	119-130	9,40	0,003**
	B	120,43	2,85	115-130		
N610 - N1-5	A	4,52	1,11	2-8	8,72	0,004**
	B	3,30	1,66	0-7		

Liczba kroków wykonywanych w kolejnych odległościach między płótkami różnicuje obydwie grupy w dwóch częściach biegu – h6-7 oraz h8-9. Utrzymanie minimalnej liczby kroków (najczęściej rytmu 13-krokowego) w drugiej części wirażu (n6-7) oraz na początku finiszowej prostej (n8-9) to najbardziej istotny element strategii biegu najlepszych płótkarzy świata lat 20. XXI wieku. Generalnie, najlepsi płótkarze wykonują mniej kroków między płótkami, szczególnie w drugiej jego części ($p = 0,003$).

Tabela 4.6.11.

Parametry „rytmowe” w dwóch grupach płótkarzy

Parametr	x	SD	Min-max	t	p
Udział kończyny L	5,37	3,56	0-10	0,00	0,952
	5,43	3,90	0-10		
Udział kończyny P	4,63	3,57	0-10	0,00	0,952
	4,57	3,9	0-10		
% udział kończyny L	53,78	35,69	0-100	0,00	0,981
	54,00	39,3	0-100		
% nieparzystej liczby kroków	30,33	16,90	0-55,56	115,39	0,000***
	73,71	15,84	44,44-100,00		

Kroki parzyste (Odd)	2,73	1,52	0-5	115,34	0,000***
	6,63	1,42	4-9		
Kroki nieparzyste (Even)	6,27	1,52	4-9	116,36	0,000***
	2,37	1,42	0-5		
Liczba zmian rytmu	1,43	0,73	1-4	1-40	0,241
	1,23	0,62	0-3		

Analiza nie wykazała zmian związanych z wyborem lewej lub prawej kończyny (nogi) atakującej. Zdecydowane zmiany nastąpiły w związku z wykorzystywaniem „rytmu” nieparzystego (głównie 13-krokowego) oraz biegu na 14 kroków (rytm parzysty). W grupie najlepszych płotkarzy dominuje bieg „jednonożny” – rytm 13-krokowy z dodatkiem 15 kroków w końcówce dystansu.

Wnioski:

1. Najważniejszym elementem postępu wyników jest podniesienie poziomu przygotowania w zakresie wytrzymałości beztlenowej (wyniki na 400 m bez płotków). Wstępna kariera sportowa na dystansie 110 m przez płotki jest obecnie drugorzędna.
2. Budowa ciała nie jest decydująca w osiąganiu wyników wysokiego poziomu; stanowi jedynie podstawę do wyboru przestrzennej struktury biegu.
3. Decydujące znaczenie mają dwa podstawowe odcinki: t2-3 (początek pierwszej prostej) oraz t9-10 – ostatni, finiszowy odcinek między płotkami (t9-10).
4. Podział na trzy części biegu dowodzi decydującego znaczenia biegu między 7. a 10. płotkiem. „Wyjście” z wirażu przedłużone o ostatni odcinek między płotkami (t8-9 + t9-10) wydaje się najważniejsze.
5. Przyjmując wartości procentowe czasu 11. odcinków biegu (100% = T400H) ponownie akcentowany jest odcinek t9-10.
6. Kluczem do sukcesu w grupie 2017–2021 jest minimalna liczba kroków wykonywanych między płotkami. Decydującym momentem jest odległość n6-7 a także odległość przedostatnia (n8-9).
7. Zmiany rytmu kroków (n6-7 oraz n8-9) w konsekwencji powodują obniżenie czasu biegu (t7-8 oraz t9-10). To prosta relacja – przyczyna-skutek.
8. Preferowanie lewej nogi atakującej nie ma potwierdzenia w postępie wyników. Zdecydowanie jednak preferowany jest „rytm jednonożny” (nieparzysty).

Wnioski aplikacyjne:

1. Poszukiwania przyszłych mistrzów dystansu 400 m przez płotki to selekcja w zakresie zdolności anaerobowych (300–400 m bez płotków). Technika pokonywania płotków (wyniki w biegu na 110 m przez płotki) spełnia rolę użytkową, nie podstawową.
2. Podstawą szkolenia płotkarzy wysokiego poziomu jest akcent na drugą część biegu, z akcentem na odcinek wyjścia z drugiego wirażu i pierwszej części finiszowej prostej.
3. Konsekwencją zmiany rytmu kroków jest często obniżenie prędkości biegu w następującej jednostki płotkarskiej. Właściwy wybór *stride pattern* pozwala na minimalizowanie strat.
4. Wybór lewej nogi atakującej nie jest obecnie koniecznością.

Piśmiennictwo uzupełniające:

Iskra J. 2022.

4.7. Metody matematyczne w ocenie strategii biegu na 400 m przez płotki

Autorzy: Krzysztof Przednowek, Janusz Iskra

Pytanie:

- | |
|--|
| 1. Czy wyniki analizy regresji i analizy PCA mogą być pomocne w opracowaniu strategii biegu na 400 m przez płotki? |
|--|

Analiza regresji

Wstęp

Ocena strategii biegu na 400 m przez płotki w przeważającej części dotyczy wykorzystania podstawowych parametrów statystycznych – wyników indywidualnych/analizy przypadków) lub wartości średnich. Istotne dane dotyczą także wartości maksymalnych i minimalnych, odchylenia standardowego i współczynników zmienności, czy, rzadko, wskaźników skośności i kurtozy. Do oceny „ważności” wybranego parametru najczęściej wykorzystywano analizę korelacji oraz analizę wariancji (ANOVA).

W niektórych publikacjach ocena czasowo-przestrzenna biegu na 400 m przez płotki od dawna wspomagana była bardziej wyrafinowanymi metodami, m.in. analizą regresji (Bozow 1982, 1983) a także analizę czynnikową (Iskra 2001ab, Iskra i wsp. 1003).

W ostatnim okresie metody analizy regresji zostały wykorzystane w ocenie obciążeń treningowych płotkarzy na 400 m przez płotki (Przednowek 2014, Przednowek i wsp. 2014, 2015, 2017). W tej części pracy staramy się przedstawić wstępne próby oceny strategii biegu w oparciu na analizie regresji.

Materiał – patrz podstawowy materiał badań

Metoda: analiza regresji krokowej pozwala na wyodrębnienie istotnych statystycznie. W analizie wykorzystano dwa typy regresji krokowej:

- **postępująca (forward regression)** – procedura rozpoczyna się od równania, które zawiera tylko wyraz wolny. Pierwszą zmienną w równaniu jest ta, która wykazuje największą korelację ze zmienną zależną. Jeżeli współczynnik regresji danej zmiennej różni się istotnie od zera, to zmienna ta pozostaje w równaniu. Następnie sprawdzane jest czy współczynnik regresji jest istotny, jeżeli tak to dodanie kolejnej zmiennej realizowane jest w ten sam sposób.
- **dwukierunkowa (bidirection stepwise regression)** – jest to procedura bardzo podobna do procedury postępującej, jednakże zawiera ona dodatkowy mechanizm umożliwiający usuwanie zmiennych na dowolnym etapie. W procedurze tej zmienna, która została wcześniej dodana do

równania, może być później usunięta. Obliczenia wykonywane w celu dodania i usunięcia zmiennych są takie same jak w procedurze postępującej i wstecznej.

Jako zmienne zależne określono wynik na 400 m ppł oraz wynik biegu na 400 m części płotkarskiej (od 1 do 10 płotka). W analizie wykorzystano łącznie 55 zmiennych zaprezentowanych w tabeli 1, w pierwszej kolejności wykorzystano regresję postępującą w celu określenia istotnych predyktorów dla obu zmiennych zależnych. Kolejnym krokiem była analiza z wykorzystaniem regresji krokowej dwukierunkowej, której zadaniem również było określenie istotnych predyktorów dla obu zmiennych zależnych.

Tabela 4.7.1.

Zmienne wykorzystane podczas analiz regresyjnych

1. Parametry podstawowe (identyfikacyjne) – 6	BH, BW, BMI, Wiek, PB400, PB400mH, WPT
2. Podstawowe zmienne czasowe (11)	t0_1, t1_2, t2_3 t3_4, t4_5, t5_6t6_7, t7_8, t8_9, t9_10, t10_F
3. Wybrane zmienne czasowe (dodawane, różnice, proporcje (15)	tbest, tworst, T1-4,,T4-7, T7-10 T1-5, T6-10, TI200H, TII200H, TII200I-TI200H,, tworst-tbest, T4-7- T1-4, T7-10_-T4-7, T7-10-T1-4 , PP1Proc
4. Wartości procentowe wybranych zmiennych czasowych (5)	%T1-4, %T4-7, %t7-10, %I200H, %II200H
5. Parametry krokowe (9)	N1-4, N4-7, N7-10,N1-10, N6-10-N1-5 N4-7-N1-4, N7-10-N1-4, N7-10-N4-7
6. Parametry „rytmowe” (6)	Kroki parzyste, kroki nieparzyste, Pokonywanie płotków prawą i lewą nogą, proporcje pokonywania płotków lewą i prawą nogą, liczba zmian rytmu
7. Parametry strategiczne (3)	P4h, P7h, P10h

W pierwszym wariancie wykorzystano model regresji krokowej, uwzględniając najważniejsze, znacznie zredukowane w liczbie, zmienne (tabela 4.7.2.).

Tabela 4.7.2.

Model regresji krokowej postępującej
dla wyniku 400 m ppł

Zmienna	Beta
Wyraz wolny	5,622
TII200H	0,881
TI200H	0,720
N7_10_N4_7	-0,029
t3_4	0,758
t _{best}	0,963
T8_9	-0,664
T7_10_T1_4	0,206

$R = 0,90$, $R^2 = 0,82$, $RMSE = 0,321$

W wyniku zastosowania regresji krokowej postępującej nastąpiła znaczna redukcja zmiennych – z 55 do 7. Wyniki analizy podkreślają znaczenie drugiej części biegu, jako decydującej o końcowym wyniku. Analiza akcentuje także możliwości szybkościowe płotkarza – najszybsza jednostka płotkarska (t_{best}) może być wyznacznikiem mistrzostwa sportowego w tej konkurencji lekkoatletycznej. Ten sposób analizy biegu potwierdza znaczenie czasu biegu między 3. a 4. płotkiem. U przeważającej części zawodników ta odległość jest pokonywana w najkrótszym czasie. (z największą prędkością). Negatywne skutki zbyt szybkiego pokonywania odcinka dotyczą jednostki płotkarskiej między 8. a 9. płotkiem. Za szybko rozpoczęty finisz (H8-9) może w konsekwencji obniżyć wartość końcowego rezultatu. Potwierdzeniem tej tezy może być bieg Pawła Januszewskiego w finale Mistrzostw Świata w Sewilli w 1999 r. Podobnie negatywny wpływ na wynik w biegu na 400 m przez płotki ma duża różnica czasu między odcinkami H7-10 a H4-7. Szybkie pokonanie pierwszej części wirażu (H4-7) może negatywnie skutkować znacznym obniżeniem prędkości biegu w końcowej jego części.

Tabela 4.7.3.

Model regresji krokowej dwukierunkowej
dla wyniku 400 m ppł

Zmienna	Beta
Wyraz wolny	5,824
TII200H	0,885
TI200H	0,679
N7_10_N4_7	-0,034
t3_4	0,559
t _{best}	0,661

$R = 0,90$, $R^2 = 0,81$, $RMSE = 0,321$

Zastosowanie matematycznego modelu regresji krokowej dwukierunkowej (inny wariant analizy regresji) jeszcze w większym stopniu redukuje analizowane parametry (tabela 4.7.4.). Analiza jeszcze w większym stopniu potwierdza znaczenie drugiej (TII200H) części biegu, jednocześnie akcentuje konieczność szybkiego początku biegu. To, z punktu matematycznego pewna niespójność – „zaczynaj szybko, ale końcówka jest najważniejsza”. W realiach biegu na 400 m przez płotki to jednak konieczność. Potwierdził to na Igrzyskach w Tokio (2021) Norweg Karsten Warholm.

Tabela 4.7.4.

Model regresji krokowej postępującej dla wyniku dla części płotkarskiej (czas od 1 do 10 płotka) biegu 400 m ppł

Zmienna	Beta
Wyraz wolny	3,676
T4_7	1,026
%T4-7	0,003
T4-7-T1-4	-0,720
TII200H	0,740
t10-F	-0,694
t4_5	0,444
N7_10_N4_7	-0,020
WPT1	0,031
t3_4	0,459
t8_9	-0,542
Liczba zmian rytmu	0,053
t _{best}	0,356
T7-10	0,301
P10h	-0,014

$R = 0,86$, $R^2 = 0,74$, $RMSE = 0,289$

Inne spojrzenie na strategię biegu na 400 m przez płotki daje uwzględnienie wyłącznie biegu między płotkami T(1-10) – tabela 3. Najważniejszą częścią biegu między płotkami jest dystans „wejścia” w drugi wiraż (T4-7). Znaczna różnica między czasem pokonania tej części biegu (za wolno) i początkowego fragmentu (T1-4; za szybko) to niekorzystny wariant przyjętej i realizowanej strategii biegu. Warto zwrócić uwagę, że analizie całości (wyłącznie bieg między płotkami) czas finiszowego odcinka (t10-F) może mieć zupełnie odwróconą pozycję (za szybkie odległości między płotkami – zbyt wolny finisz). W analizie po raz kolejny potwierdzono znaczenie biegu na pierwszej prostej (t3-4, t4-5).

Tabela 4.7.5.

Model regresji krokowej dwukierunkowej dla wyniku dla części płotkarskiej (czas od 1 do 10 płotka) biegu 400 m ppł

Zmienna	Beta
Wyraz wolny	4,154
T4_7	1,179
T4_7_T1_4	-0,997
TII200H	0,844
t10_F	-0,798
t4_5	0,584
N7_10_N4_7	-0,028

R=0,90, R²= 0,81, RMSE =0,269

Model regresji dwukierunkowej nieco upraszcza uwarunkowania, przedłużając istotność czasu pokonania pierwszej prostej o odcinek t4-5 (tabela 4.7.5.).

Wnioski:

1. Druga część dystansu (TII200H) ma decydujące znaczenie w biegu na 400 m przez płotki mężczyzn.
2. Czas pokonania odcinka między końcem pierwszej prostej a początkiem drugiego wirażu (T4-7) to newralgiczny fragment biegu.
3. Finiszowy odcinek 40 m (360–400 m) nie odzwierciedla poziomu płotkarzy

Wnioski aplikacyjne:

1. Dyspozycje szybkościowe (szybkość płotkarska”, t3-4) są dużym atutem w osiąganiu rezultatów wysokiego poziomu.
2. Zbyt wczesne (H8-10) rozpoczęcie finiszu może mieć negatywne skutki na końcowej części dystansu.
3. Wyniki analiz naukowych wskazują na istotne znaczenie odcinka pierwszej prostej (T3-4/5). Rozsądek (i dalsze analizy naukowe) wskazuje jednak na ryzyko spadku prędkości na ostatniej prostej.
4. Odcinek finiszowy (t10-F) jest konsekwencją strategii biegu między płotkami (T1-10).

Analiza PCA

Wprowadzenie

Analiza PCA to jedna ze statystycznych metod analizy czynnikowej, które pozwalają na wyodrębnienie najważniejszych zmiennych (parametrów) w ocenie mistrzostwa sportowego. W poszukiwaniu „zwycięskich” parametrów naukowcy i trenerzy szukają odpowiedzi na pytanie – co jest

najważniejsze? Analiza składowych głównych PCA grupuje związane ze sobą zmienne, wyodrębniając najważniejsze.

PCA (*Principal Component Analysis*) wielokrotnie wykorzystywano w ocenie techniki ruchu w wybranych dyscyplinach sportu (Campos i wsp. 2013, Federoff i wsp. 2012). Campos i wsp. (2013) wyodrębnili grupy parametrów charakteryzujących odbicie w skoku w dal, Federoff i wsp. (2012) technikę zjazdu na nartach, a Dona i wsp. (2009) chód sport. Podstawy wykorzystania PCA w analizie sportowej przedstawili Hughes i Barlett (2002) oraz O'Donoghue (2008).

Wykorzystanie PCA w ocenie biegu na 400 m przez płotki ma wieloletnią tradycję. Analizy dotyczą elementów budowy ciała (Iskra 2001a), obciążeń treningowych (Iskra 2001b) czy parametrów kinematycznych pokonywania płotki (Iskra i wsp. 2003).

Metoda

W celu redukcji dużej liczby zmiennych do kilku czynników, które w podobny sposób opisują badane zjawisko, zastosowano analizę czynnikową PCA (*Principal Component Analysis*). Uwzględniono czynniki, których wkład w całkowity zasób zmienności wspólnej był większy od 1 (Ferguson i Takane 1997). Dla większej przejrzystości w analizie wyników jako najniższe uwzględniono ładunki większe niż 0,30.

Przeprowadzono 3-etapową PCA obejmującą:

- A. Dane podzielone na podstawowe jednostki płotkarskie (1JP)
- B. Dane uwzględniające trzy podstawowe części biegu przez płotki (3JP)
- C. Dane sumujące wyniki wcześniejszych analiz z dodatkiem części bez biegu (dobieg i tzw. „wybieg”).

Wyniki

Tabela 4.7.6.
Strategia biegu na 400 m przez płotki w ocenie analizy PCA

Grupy parametrów	Zmienne	Komponent						Siła zm.*	W. zm.*
		K1	K2	K3	K4	K5	K6		
A. Podstawowe	BH	-0,58	-0,41			0,40		0,74	7
	BW	-0,55			0,31	0,66		0,92	1
	BMI	0,32	0,33		0,60	0,47		0,72	8
	T _{400 m}		-0,56		-0,55			0,80	6
	TI			0,33	0,73			0,71	9
	Wiek							0,15	26
B. Podstawowe zmienne czasowe	t ₀₋₁		-0,39					0,69	13
	t ₁₋₂	0,41	-0,38	-0,43				0,64	18
	t ₂₋₃	0,43	-0,40	-0,43				0,56	23
	t ₃₋₄	0,50	-0,41	-0,34				0,60	22
	t ₄₋₅	0,45	-0,46				0,35	0,62	20
	t ₅₋₆		-0,54		0,44			0,63	19
	t ₆₋₇		-0,57					0,50	25
	t ₇₋₈		-0,61	0,37				0,55	24
	t ₈₋₉		-0,59	0,54				0,67	16
	t ₉₋₁₀ t _{10-F}		-0,40	0,65		-0,33		0,70 0,61	12 21

C. Podstawowe zmienne przestrzenne	n ₁₋₂	0,82							0,85	5
	n ₂₋₃	0,88							0,90	2
	n ₃₋₄	0,87							0,90	3
	n ₄₋₅	0,86							0,90	4
	n ₅₋₆	0,81							0,71	10
	n ₆₋₇	0,75							0,64	17
	n ₇₋₈	0,77							0,70	11
	n ₈₋₉	0,69				0,39			0,69	14
	n ₉₋₁₀	0,62				0,50			0,68	15
	Wartości własne		7,33	3,29	2,70	1,88	1,52	1,05		
Skumulowane wartości własne		7,33	10,62	13,32	15,20	16,72	17,77			
% całkowitej wariancji		28,18	12,65	10,39	7,21	5,84	4,05			
Skumulowany %		28,18	40,83	51,22	58,43	64,27	68,32			

* - Cz - czynnik; Siła zm. - siła zmiennych; W. zm. - ważność zmiennych

Komponent 1 - liczby kroków pierwszej części dystansu
 Komponent 2 - czasu biegu drugiej części dystansu
 Komponent 3 - końcowej części biegu
 Komponent 4 - techniki biegu
 Komponent 5 - budowy ciała
 Komponent 6 - czasu pierwszej części biegu

W pierwszej próbie wykorzystania analizy PCA w ocenie strategii biegu na 400 m przez płotki mężczyzn światowego poziomu w grupie zmiennych wykorzystano jedynie podstawowe parametry identyfikacyjne oraz detaliczne (9–11 zmiennych) parametry czasowe i przestrzenne (tabela 4.7.6.).

Najważniejszym czynnikiem (28,18%) okazał się czynnik skupiający głównie minimalną liczbę kroków na pierwszej prostej (N2-5) oraz minimalny czas pokonania odcinka między drugim a piątym płotkiem (T2-5). Wyniki te zależą także od znacznej wysokości ciała.

Wartości kolejnych czynników akcentują czas pokonania drugiej części biegu (12,65%), końcowego fragmentu (10,39%), a także elementy świadczące o przygotowaniu technicznym, mającym odpowiedniku w czasie pokonania newralgicznego momentu między 5. a 6. płotkiem. Najmniejsze znaczenie, w świetle przyjętej metody gromadzenia danych, ma pierwsza część dystansu.

Tabela 4.7. 7.

Wyniki PCA zmiennych pierwszej (H1-4) części dystansu

Lp.	Parametry	Komponenty						
		K1	K2	K3	K4	K5	Siła zm.*	W. zm.*
1	Wiek						0,133	25
	BH	-0,38	-0,40	-0,41	-0,44	-0,34	0,776	17
	BW	-0,39		-0,59		-0,60	0,901	7
	BMI		0,26	-0,37	0,50	-0,46	0,648	21
	PB 400 m	0,36			-0,75		0,817	14
	TI				0,72	-0,35	0,686	18
2	t ₁₋₂	0,67	-0,45				0,677	19
	t ₂₋₃	0,66	-0,42				0,669	20
	t ₃₋₄	0,61					0,533	23
	T ₁₋₄	0,81	-0,48				0,958	3
	T _{1200H}	0,72	-0,49				0,891	8
	t _{best}	0,67	-0,57				0,799	15
3	T _{1200H} - T _{1200H}	-0,63	0,47				0,855	10
	T ₄₋₅ - T ₁₋₄	-0,60	0,30				0,522	24
	T ₇₋₁₀ - T ₁₋₄	-0,70	0,39				0,873	9
	t _{wast} - t _{best}	-0,53	0,47			-0,32	0,778	16
4	n ₁₋₂	0,81	0,51				0,915	6
	n ₂₋₃	0,82	0,53				0,950	4
	n ₃₋₄	0,82	0,52				0,949	5

	N ₁₋₅	0,824	0,52					0,970	2
	N ₁₋₄	0,828	0,53					0,977	1
5	N ₆₋₁₀ - N ₁₋₅	-0,49		0,71				0,854	1
	N ₄₋₇ - N ₁₋₄	-0,37		0,67				0,626	22
	N ₇₋₁₀ - N ₁₋₄	-0,52		0,69				0,843	12
6	L ₁₋₄	-0,75	-0,49					0,821	13
	Wartości własne	37,83	16,40	9,90	7,78	5,73			
	Skumulowane wartości własne	37,83	54,23	64,13	71,91	77,64			
	% całkowitej wariancji	9,42	4,06	2,54	1,98	1,41			
	Skumulowany %	9,42	13,48	16,02	18,00	19,41			

Komponent 1 – czasowo-przestrzenny
Komponent 2 – przestrzenny
Komponent 3 – różnicy rytmu
Komponent 4 – przygotowania technicznego
Komponent 5 – budowy ciała

Analiza pierwszej części biegu zdecydowanie (37,83%) wiąże minimalną liczbę kroków wykonywanych do 4. pętka z czasem pokonywania tego odcinka. Związek z minimalizowaniem liczby kroków z czasem najszybszej jednostki plotkarskiej podkreśla jeszcze raz czynnik 2 (16,40%).

Czynnik III podkreśla ważny skutek zależności – duża masa ciała to istotny spadek długości kroków w drugiej części dystansu. Kolejne czynniki dowodzą autonomicznego (różnorodnego) wykorzystywania przygotowania technicznego i zróżnicowania typów budowy ciała.

Tabela 4.7.8.

Wyniki PCA zmiennych drugiej (H4-7) części dystansu

Lp.	Parametry	PCA								Siła zm.*	W. zm.*
		K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8		
1	Wiek								0,67	0,581	32
	BH	-0,58						-0,49		0,759	28
	BW	-0,54				0,33		-0,75		0,984	2
	BMI					0,57		-0,49		0,762	27
	PB 400 m			-0,44	-0,52	-0,41				0,889	16
	TI				0,52	0,31	0,52		-0,39	0,851	22
2	t ₄₋₅	0,41		-0,62						0,604	31
	t ₅₋₆			-0,74						0,720	29
	t ₆₋₇			-0,70						0,630	30
	t ₄₋₇	0,30		-0,91						0,988	1
	t _{I 200H}	0,52	-0,36	-0,65						0,945	7
	t _{II 200H}		0,77	-0,47						0,908	13
	t _{best}	0,41	-0,45	-0,43			0,34			0,829	25
	t _{worst}		0,72							0,884	18

3	$T_{11200H} - T_{1200H}$	-0,36	0,87							0,913	11
	$T_{4-7} - T_{1-4}$	-0,33	0,48	-0,34	0,30	0,42	-0,41			0,914	10
	$T_{7-10} - T_{4-7}$	-0,36	0,64		-0,41		0,31			0,937	8
	$T_{7-10} - T_{1-4}$	-0,49	0,81							0,933	9
	$t_{\text{worsz}} - t_{\text{best}}$	-0,34	0,81							0,883	19
4	n_{4-5}	0,87								0,884	17
	n_{5-6}	0,83								0,881	26
	n_{6-7}	0,77	0,37							0,846	23
	N_{1-5}	0,88								0,951	5
	N_{6-10}	0,76	0,47							0,948	6
5	N_{4-7}	0,94								0,970	4
	$N_{6-10} - N_{1-5}$		0,50		0,61	-0,53				0,981	3
	$N_{4-7} - N_{1-4}$		0,44		0,49	-0,33	-0,42			0,846	24
	$N_{7-10} - N_{4-7}$	-0,30	0,32		0,42	-0,40	0,47			0,881	21
6	L_{1-4}	-0,90								0,913	12
	L_{4-7}	-0,90								0,904	14
	F_{1-10}	0,80		0,42						0,902	20
	F_{4-7}	0,79		0,43						0,901	15
	Wartości własne	29,65	17,58	13,10	7,45	6,52	4,63	4,18	3,15		
	Skumulowane wartości własne	29,65	47,23	60,33	67,78	74,30	78,93	83,11	86,26		
	% całkowitej wariancji	9,47	5,60	4,15	2,46	2,10	1,52	1,32	1,01		
	Skumulowany %	9,47	15,07	19,22	21,68	23,78	25,30	26,62	27,63		

Komponent 1 – liczby kroków
 Komponent 2 – proporcji czasowych
 Komponent 3 – wytrzymałości rytmowej
 Komponent 4 – zmiany rytmu kroków
 Komponent 5 – budowy ciała
 Komponent 6 – przygotowania technicznego
 Komponent 7 – masy ciała
 Komponent 8 – wieku

Część środkowa biegu na 400 m przez płotki wg wielu specjalistów wydaje się decydująca w skutecznym realizowaniu strategii biegu. Liczba wyodrębnionych komponentów sugeruje złożoność i niejednoznaczność problemu. Ponownie liczba kroków w tej części biegu ma decydujące znaczenie, wpływającej zarówno na długość i częstotliwość kroków (29,65%). W tym fragmencie biegu istotne znaczenie ma problem częstotliwości kroków w kontekście skuteczności (prędkości) biegu. W tym fragmencie długość kroku jest nadrzędna w kontekście częstotliwości (komponent III – 13,10%). Komponent IV to kwintesencja biegu na 400 m przez płotki. Różne umiejętności techniczne i stopień przygotowania motorycznego w różnym stopniu determinują zmiany czasowe i przestrzenne biegu. Pozostałe czynniki (wiek, budowa ciała, indeks techniki rekord na 400 m) są odrębne i świadczą o ich względnej „autonomii”.

Tabela 4.7.9.

Wyniki PCA zmiennych trzeciej (H7-10) części dystansu

Lp.	Parametr	K1*	K2	K3	K4	K5	Siła zm.*	W. zm.*
1	Wiek				0,34		0,181	28
	BH	0,42	-0,50		-0,38	-0,34	0,689	23
	BW	0,38	-0,38	0,37		-0,70	0,914	6
	BMI			0,45	0,45	-0,60	0,780	20
	PB 400 m			-0,67	-0,57		0,816	17
	TI			0,44	-0,38		0,382	27
2	t7-8	-0,38	-0,44				0,508	26
	t8-9	-0,43	-0,35				0,678	24
	t9-10	-0,46	-0,75				0,856	10
	t7-10	-0,52	-0,76				0,930	4
	tI 200H	-0,58	-0,66				0,833	14
	tworst	-0,46	-0,75				0,865	8
3	TII200H - TI200H	-0,41	-0,72				0,761	22
	T7-10 - T1-4	-0,34	-0,82				0,855	11
	T7-10 - T4-7	-0,35	-0,71				0,668	25
	tworst - tbest	-0,37	-0,75		0,35		0,837	13
4	n7-8	-0,77	0,41				0,767	21
	n8-9	-0,84	0,34				0,827	16
	n9-10	-0,85					0,784	19
	N6-10	-0,39	0,39				0,953	2
	N7-10	-0,91	0,36				0,966	1
5	N6-10 - N1-5	-0,57		0,55	-0,42		0,870	7
	N7-10 - N1-4	-0,58		0,62	-0,40		0,944	3
	N7-10 - N4-7	-0,47		0,63	-0,35		0,799	18
6	L1-10	0,68	-0,52	0,35			0,930	5
	L7-10	0,80	-0,43				0,830	15
	F1-10	-0,56	0,62		0,33		0,844	12
	F7-10	-0,57	0,72				0,857	9
	Wartości własne	30,59	26,81	9,13	6,92	4,79		
	Skumulowane wartości własne	8,55	7,43	2,61	1,95	1,33		
	% całkowitej wariancji	30,59	57,40	66,53	73,45	74,78		
	Skumulowany %	8,55	15,98	18,59	20,54	21,87		

Komponent 1 – liczby kroków
Komponent 2 – czasowy
Komponent 3 – zmiany rytmu
Komponent 4 – przygotowania biegowego
Komponent 5 – budowy ciała

Ostatnia część dystansu (H7-10) obejmuje dwa główne komponenty – liczbę kroków (30,59%) oraz czynnik czasowy (26,81%) – tabela 4.7.9. Wskazuje to na istotne znaczenie obydwu komponentów, nie zawsze ze sobą powiązanych. Ważnym elementem są różnice liczby kroków (komponent III) w poszczególnych częściach biegu. Te parametry są związane z czasem biegu na płaskim dystansie 400 m.

Tabela 4.7.10.

Strategia biegu na 400 m przez płotki w ujęciu analizy PCA – końcowa analiza

Grupy parametrów	Zmienna	K1*	K2	K3	K4	K5	Siła zm.*	W. zm.*
	T ₁₋₁₀		-0,45	-0,82			0,934	6
1. Parametry podstawowe	BH	0,50		-0,34			0,500	29
	BW	0,45					0,357	34
	BMI					0,30	0,205	36
	T _{400 m}			-0,49			0,495	31
	TI			-0,31			0,184	37
	Wiek						0,100	38
2. Parametry czasowe	T _{I200H}	-0,61		-0,74			0,945	4
	T _{I-200H}	0,31	-0,83	-0,38			0,938	5
	T ₀₋₁			-0,46			0,340	35
	T ₁₋₄	-0,68		-0,63			0,9090	10
	T ₄₋₇			-0,75		0,46	0,905	11
	T ₇₋₁₀	0,35	-0,71	-0,47			0,884	13
	T _{10-H}		-0,70			-0,30	0,703	24
3. Różnice parametrów czasowych	T _{I200H} - T _{I200H}	0,64	-0,69				0,960	1
	T ₄₋₇ - T ₁₋₄	0,50				0,69	0,810	20
	T ₇₋₁₀ - T ₁₋₄	0,53	-0,49			-0,40	0,785	22
	T ₇₋₁₀ - T ₄₋₇	0,74	-0,56				0,917	8
4. Parametry przestrzenne	N ₁₋₁₀	-0,86	-0,32				0,924	7
	N ₁₋₄	-0,84	-0,32				0,912	9
	N ₄₋₇	-0,76	-0,51				0,872	15
	N ₇₋₁₀	-0,44	-0,68		-0,46		0,890	12
5. Różnice parametrów przestrzennych	N ₆₋₁₀ - N ₁₋₅	0,45	-0,36		-0,77		0,948	3
	N ₄₋₇ - N ₁₋₄		-0,31		-0,57		0,477	32
	N ₇₋₁₀ - N ₄₋₇	0,45	-0,36		-0,78		0,959	2
	N ₇₋₁₀ - N ₁₋₄	0,42			-0,58		0,611	27
6. Parametry pośrednie	L ₁₋₄	0,79	0,37				0,865	16
	L ₄₋₇	0,75	0,52				0,874	14
	L ₇₋₁₀	0,48	0,59		0,46		0,811	19
	F ₁₋₄	-0,46	-0,42	0,56			0,808	21
	F ₄₋₇	-0,64	-0,44	0,47			0,843	18
	F ₇₋₁₀	-0,61		0,39	-0,49		0,845	17
7. Parametry rytmu	Parzyste						0,010	=40
	Nieparzyste						0,010	=40

8. Wskaźniki procentowe	T ₀₋₁ % 400H		0,56				0,460	33
	T ₁₋₃ % 400H	-0,62	0,50				0,768	23
	T ₃₋₅ % 400H	-0,58	0,31			-0,30	0,517	28
	T ₆₋₈ % 400H	0,32				0,54	0,497	30
	T ₈₋₁₀ % 400H		-0,58	0,32		-0,31	0,668	26
	T _{10-F} % 400H	0,60	-0,45				0,688	25
Wartości własne		9,88	7,40	4,96	3,67	2,31		
Skumulowane wartości własne		9,88	17,28	22,24	25,91	28,22		
% całkowity wariacji		24,11	18,06	12,09	8,94	5,65		
Skumulowany %		24,11	42,17	54,26	63,20	68,85		

* – K - komponent; Siła zm. – siła zmiennych; W. zm. – ważność zmiennych

Komponent 1 – pierwszej części biegu
Komponent 2 – trzeciej części biegu
Komponent 3 – drugiej części biegu
Komponent 4 – zmiany rytmu
Komponent 5 – zmiany tempa biegu

W ostatniej próbie wykorzystania analizy czynnikowej w ocenie strategii biegu na 400 m przez płotki pierwsze trzy czynniki (w sumie 54,26%) wyraźnie różnicują trzy części biegu. Najważniejsze, wg analizy czynnikowej są części skrajne – początkowa (H1-4; 24,11%) oraz końcowa (H7-10; 18,06%). Środkowa część zawiera głównie elementy częstotliwości kroków – zmiennych charakterystycznych dla zmiany rytmu kroków. Dwa ostatnie czynniki dotyczą ważnych fragmentów strategii – zmian rytmu biegu (=liczby kroków) i tempa biegu (=czasu pokonywania kolejnych części dystansu).

Wnioski:

1. Ważnym elementem strategii biegu na 400 m przez płotki jest minimalna liczba kroków wykonywana w pierwszej części dystansu. Liczba ta determinuje czas pokonania pierwszej części dystansu.
2. Siłowy (znaczna masa ciała) typ budowy związany jest z koniecznością znacznej redukcji liczby kroków w drugiej części dystansu.
3. W środkowej części dystansu ważny wydaje się problem analizy częstotliwości kroków. Czas jest decydujący ale częstotliwość kroków między 5. a 8. płotkiem jest pośrednio ważna.
4. Znaczne różnice liczby kroków w drugiej i pierwszej części biegu dotyczą płotkarzy o znaczących rekordach życiowych w biegu na 400 m (bez płotków).
5. Wyniki analizy czynnikowej wskazują na wyraźny podział biegu na trzy części a także akcentuje odrębność problemów zmiany rytmu (*stride pattern*) i tempa (*split times*) biegu.

Wnioski aplikacyjne:

1. W pierwszej części dystansu preferowany jest minimalna liczba kroków między płótkami („rytm” 13-krokowy). Pozwala to na utrzymanie wysokiej prędkości biegu na pierwszej prostej.
2. Dla płótkarzy typu siłowego należy przygotować strategię biegu opartą na zdecydowanej (także podwójnej) zmianie liczby kroków.
3. Ćwiczenia zmiany częstotliwości kroków należy akcentować w czasie początków zmęczenia o charakterze glikolitycznym (H5-8).
4. Płótkarze wcześniej specjalizujący się na dystansie płaskim (400 m) w drugiej części dystansu muszą liczyć się ze zmianą rytmu kroków.
5. W szkoleniu płótkarzy należy wyraźnie podzielić środki treningowe w zakresie trzech części biegu.

Piśmiennictwo *

Bozow 1982

Bozow 1983

Campos J., Gamez J., Encarnacion A., Gutierrez-Davila M., Rojas J., Wallace E.S. 2013. Three-Dimensional Kinematics During the Take-Off Phase in Competitive Long Jumping. *International Journal of Sports Science & Coaching* (8), 2, 395–406.

Dona G., Preatoni E., Cobelli C., Rodano R., Harrison A. 2009. A application of functional principal component analysis in race walking. *Sports Biomechanics* 8, 284–301.

Hughes i Barlett 2002

Iskra 2001ab

Iskra J., Waśkiewicz Z., Bacik B. 2003. Próba zastosowania analizy czynnikowej do oceny kinematycznych parametrów kroku płótkowego. *Antropomotoryka* 25, 47–52.

O'Donoghue P. 2008. Principal component analysis in the selection of key performance indicators in sport. *International Journal of Performance Analysis in Sport* 8 (3), 145–155.

Przednowek K., Iskra J., Przednowek H.K. 2014

Przednowek K. 2014

Przednowek K., Iskra J. 2014. Comparison of mathematical models of running training loads in 110m and 400m hurdles, [w:] „*Atletika 2014*”, (red. I.Cilik, M.Pupis, R.Tataruch), Univerzita Mateja Bela, Banska Bystrica, 9–77.

Przednowek K., Iskra J., Cieszkowski S. 2012. The use of selected lineal models in predicting the results of 400-metre hurdles races, [w:] (red. G. Juras, K. Słomka) „*Current research in motor control. Part IV*”, AWF, Katowice, 138–144.

Przednowek K., Iskra J., Cieszkowski S., Przednowek K. 2015. Planning Training Loads to Develop Technique and Rhythm in the 400 m Hurdles using RBF Network, [w:] (red. J. Cabri, P. Pezarat-Correira) *icSports 2015, Sport Sciences research and Technology Support*, Scitepress, Portugal, 245–249.

Przednowek K., Iskra J., Krzeszowski T., Wiktorowicz K. 2016. Evaluation of kinematic parameters of hurdle clearance during fatigue in men's 400 m hurdles –

research using the method of computer version, [w:] (red. Kajetan Słomka, Grzegorz Juras) *Current research in motor control V*, 100–105.

Przednowek K., Iskra J., Maszczyk A., Nawrocka M. 2017

Przednowek K., Iskra J., Walaszczyk A. 2014. Optimization of training loads developing strength in 400-meters hurdles. *Scientific Review of Physical Culture*, (4), 1, 122–127

Przednowek Kr Iskra J., Przednowek H.Ka. 2014

Przednowek Kr., Iskra J., Przednowek Ka. 2015. *Prediction of the Results In 400-Metres Hurdles In Two Different Time Intervals Using Statistical Learning Methods*, [w:] (ed. J. Cabri, J. Barreiros, P. Pezarat-Correira) *Sports Science Research and Technology Support*. Springer International Publishing, Switzerland, 30–41.

*- pełna identyfikacja niektórych pozycji – na końcu pracy

4.8. Analizy nie ujęte w pracy – inspiracje na przyszłość

Publikacja ma wiele wątków, obejmujących wielopłaszczyznowy problem strategii biegu na 400 m przez płotki. Od czasu rozpoczęcia pracy nad książką (2017 r.) nastąpiła prawdziwa rewolucja na tym dystansie. Rywalizacja płotkarzy (i płotkarek) na Igrzyskach Olimpijskich w 2021 (Tokio) i Mistrzostwach Świata w 2022 (Eugene) zmusiła autora do modyfikacji tekstu.

Pomimo wielu starań, praca z całą pewnością nie wyczerpuje wszystkich części problemu.

Oto kilka przykładów:

1. Ocena przebiegu kariery sportowej w kontekście zmian strategii biegu.
2. Dopracowanie strategii biegu w odniesieniu do typologii płotkarzy (somatycznej i sprawnościowej).
3. Analiza indywidualnych przypadków.
4. Przeprowadzenie metaanalizy w odniesieniu do piśmiennictwa dotyczącego strategii biegu.
5. Wykorzystanie zaawansowanych analiz statystycznych – regularyzowanych modeli liniowych i sieci neuronowych.
6. Opracowanie strategii biegu na 400 m przez płotki kobiet i wyłonienie różnic dymorficznych.

Piśmiennictwo*

* – piśmiennictwo obszerne, warte jednak przeanalizowania; wieloletnie doświadczenia (naukowców i trenerów) pozwalają na wielowymiarowe spojrzenie na problematykę biegu na 400 m przez płotki

– grubą czcionką (Adamczyk J. 2007) zaznaczono pozycje zwarte (książki, prace naukowe, skrypty, prace promocyjne)

– czcionka pochyła (Brice P. 2018) to pozycje zawarte w sieci (netografia)

- [1] **Adamczyk J. 2007. *Obciążenia treningowe zawodników o różnym poziomie sportowym trenujących bieg na 400 m przez płotki*. Praca doktorska. Warszawa, Akademia Wychowania**
- [2] Adamczyk J. 2009. Relation between result and size of training loads in 400-metre hurdle race of men. *Ugdymos. Kūno Kultūra. Sportras [Educatin, Physical training, Sport]* 75, 4, 5–9. Biomedicinos, Moskai.
- [3] Adamczyk J., Dobrzak-Adamczyk I. 2010. Wiek mistrzostwa sportowego w biegu na 400 m przez płotki. *Kutura Fizyczna* (64) 5/8, 10–15.
- [4] Adamczyk J., Siewierski M., Boguszewski D. 2010. An attempt at the identification of anthropometric conditioning of sport results in 400-m men's hurdles. *Baltic Journal of Health and Physical Activity* (2), 1, 57–66. Także: www.bmsi.ru, (2011.05.16).
- [5] Ałabin W., Majszutowicz M., Masłowski J. 1974. 400 metrow s barierami. *Legkaja Atletika* 9, 26.
- [6] Ałabin W., Majszutowicz W. 1973. Der Geschwindigkeitsverlauf im 400-m-Rennen. *Leichtathletik* 26, 11–15.
- [7] Ałabin W., Masłowski E., Majszutowicz M. 1972. Fiziczeskije kaczestwa barieristow. *Legkaja Atletika* 6, 13–14. Także: Die Konditionseigenschaften von 400-m.-Hürdenläuferinnen. *Leichtathletik* 1972, 38.
- [8] Aragon S., Sapresa D., Arana J., Anguera M.T., Garzon B. 2016. Tactical behaviour of winning athletes in major championship 1500-m and 5000-m track finals. *European Journal of Sport Sciences* 16 (3); 279–286.
- [9] Arakelian J., Mirzozjew O. 1997. Modeli sprinterow i barieristow. *Legkaja Atletika* 2, 10.
- [10] **Arnold M. 1974. *Hurdling*. (4^{ed}). London, British Amateur Athletic Board, (także: 1992, (5^{ed}) British Athletic Federation, Birmingham.)**
- [11] Arteaga Canizares R.G.C. 2013. Analisis biocinematico de los 400 metros con vallas. Un estudio de scaso. *EFDeportes.com*, Revista Digital, Buenos Aires 18, 184, Septiembre de 2013, <http://www.efdeportes.com>

- [12] Babić V., Delalija A. 2009. Reaction time trends in the sprint and hurdle events at the 2004 Olympic Games: Differences between male and female athletes. *New Studies in Athletics* (24) 1, 59–68. Takže: Reaction time and sprint results in athletics. W: (red. M. Čoh) *Application of biomechanics in track and field*. University of Ljubljana, Ljubljana. 183–193. Takže: (Delalija A., Babić V). *International Journal of Performance Analysis in Sport* (8), 2, 67–75.
- [13] Babić, Vesna, Luka, Borčič, Katović, Darko. 2014. Male 400m Hurdles: Running Dynamics. W: (red.) *19th Annual Congress of the European College of Sport Science, Amstredam*, https://www.researchgate.net/publication/305033139_Male_400m_Hurdles_Running_Dynamics
- [14] **Ballesteros J.M. 1992. Hurdles. W: *Basic coaching manual. International Amateur Athletic Federatio, London.***
- [15] Balsalobre-Fernández, C., Tejero-González, C.M., Campo-Vecino, J.D., & 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 Hurdles, *Journal of Human Kinetics*, 36(1), 119-126. doi: <https://doi.org/10.2478/hukin-2013-0012>
- [16] Barac, F., Sirucek M., Kodejs M. 1992. Expert system – 110 m hurdles. In: (eds. G. Tenenbaum, T. Raz-Liebermann i Z. Artzi), *Proceedings of the International conference on Computer Applications in Sport and Physical Education*. Netanya: Wingate Institute, 188–191.
- [17] **Behm J.J. 2014. *Quatrache 400 haies histoire du monde 1900–2012. Mardore.***
- [18] **Behm J.J. (red.) 2021. *Histoire du Monde. Part 1. Ere primaire 1900–1967. La planète du. 4h***
- [19] **Behm J.J. 2019. *L'étrange histoire du record du Monde du 4H. Mardore***
- [20] Belloc O. 1988. Etudes comparees des amplitudes de foulees dans le 400 m plat et le 400 m haies. *Revue de l'Amicale des Entraîneurs Français d'Athletisme* 105, 19. Takže: (Nabljudenija i sravnenija varchu amplitudata na krackite na 400 m gladko bjagane i 400 m.), [w:] *Tranerska Misal* 1988, 9, 61–63.
- [21] **Belloc O. 1990. *400 Mètres Hales. Les Enseignements du 400 Plat. Collection Entraînement. Documents pour l'entraîneur. Paris, INSEP Publications.***
- [22] **Billouin A. 1985. *Atletismo. Editorial Hispano Europea. Barcelona.***
- [23] Boczwarow D. 1985. Uprawnienie na skorostta w mezdinnite otceczki. *Treñorska Misal* 8, 26–30.
- [24] **Bollschweiler L. 2008. *A biomechanical analysis of male and female intermediate hurdlers and steeplechasers.* Brighton Young University, Brighton (master of science).**
- [25] **Bowerman J.W., Freeman W.H. 1991. The intermediate hurdles, [w:] *High – performance training for track and field.* Leisure Press, Illinois, 77–84.**

- [26] Boyd R. 2000. Components of the 400m hurdles. *Track Coach* Spring, 151, 4822–4830. Takže: 400m hurdles. The components. *Modern Athlete and Coach* 2008 (46),4,29-32; 2011, (49), 3, 26–31.
- [27] Boyd R. 2004. Some fact about the 400 m hurdles, [w:] (red. Jess Jarver) *The hurdles: contemporary theory, technique and training* (4th ed.) Mountain View, Tafnews Press, 115–118.
- [28] Bozow I.W. 1982. Metod za kontrol, oценка i optimiziranje na skorostta w prepiatstwiennoto biaganie na 400 m – mže. *Waproši na Fiziczeskata Kultura* 6, 374–377.
- [29] Bozow I.W. 1983. Ritamat na krackite pri 400 metra prepjatsstveno bjagane. *Treňorska Misal* 10, 26–30.
- [30] Bračič M., Čoh M. 2009. Primerjalna analiza odzivnih časov na svefovnom atletskem prvenstvu v Osaki 2007 in Berlinu 2009. *Šport* LVII, 3–4.
- [31] Bravo J. 1982. 400 m.v. (hombres) ritmo o numero de pasos entre vallas. *Atletismo Espanol* (31), 323, 48–49.
- [32] Breitschaft J. 1965. 400m-Hürdenlauf. *Theorie und Praxis des Leistungssports* 108–113.
- [33] Brejzer W. 1973. Faktory rosta. *Legkaja Atletika* 6, 15.
- [34] Brejzer W., Iwkin G. 1982. Specific endurance in hurdling. *Modern Athlete ana Coach* 4, 13–14.
- [35] Brejzer W., Wróblewski J. 1982. 400 metrow s barierami – obraz nacucznych issliedowanij. *Legkaja Atletika* 11, 4–6. Takže (The 400 metres hurdles. A summary of information.) w: *Modern Athlete and Coach* 1984, 3, 32-34 oraz: (Looking at the 400 m hurdles.) [w:] *The hurdles...* (red. J. Jarver), 1991, 91–93, oraz: Brejzer W.W. 400 m prekážek. *Atletika* 1983, 4, 13–15.
- [36] Brejzer W., Wróblewski W. 1986. Dynamika treningoveho zatizeni v behu na 400 m prekazek. *Atletika* 5, 16–17.
- [37] Brejzer W., Wróblewski W., Kazmin R. 1984. 400 m s/b. Raspriedelienie trenirowocznych nagruzok. *Legkaja Atletika* 12, 12–13. Takže (Dynamika tréningového zatížení v běhu žen na 400 m překážek) *Atletika* 1986, 5, 16–17; oraz: (Women's 400 m hurdle training) *Modern Athlete and Coach*, 1985, 42-43; oraz: (Der 400-m-Hürdenlauf der Frauen) *Leichtathlet* 1986, 3, 6-7.
- [38] Brejzer W.W. 1983. 400 m prekážek. *Atletika*,7, 13-15.
- [39] Brejzer W.W. 1993. Leistungssteigerung und Trainingsbelastung im Hürdensprint. Ein mathematisches Modell. *Leistungssport*, 3, 43–46.
- [40] Brejzer W.W., Iwkin G.W., Maliukow M.B., Dobrowolskij I.G. 1983. Dinamika sportiwnowo rezultata pod wlijanjem trenirowocznych wozdiejstwiej. *Teoria i Praktika Fiziczeskoj Kultury*, 12, 10–13.
- [41] Brejzer W.W., Iwkin G.W., Maljutow M.B. 1988. Programmirowanie trenirowocznoj nagruzki w godicznom cikle potgotowki. *Teoria i Praktika Fiziczeskoj Kultury*, 3, 36–38.

- [42] Brice P. 2018. Race analysis: 400m and 400m Hurdles, [w:] www.atletiekunie.nl/thema/Trainercongres (access: 02.10.2019).
- [43] Brodani J. 1999. Zmeny bežeckeho tytmu u najlepšíh bezcov na 400 m prekazok. *TVS, Telesna Vychova & Sport* (9), 2, 20–24
- [44] Brodání J. 2012. *THE EVOLUTION OF THE WORLD PERFORMANCE IN HURDLES*. 4. 8–15. Symulacija progresji wyników w latach 2013–2016. Publikacja z roku 2012. <https://www.researchgate.net/publication/342832962> *THE EVOLUTION OF THE WORLD PERFORMANCE IN HURDLES*
- [45] Brogli J., Krastew R. 1974. Optirizirane na usilijata po razstojanieto pri 400 m prepjatsstveno bjagane. *Waprosi na Fiziceskata Kultura* (19), 3, 146–150.
- [46] Brown G. 1991. Basic performance factors in 400m hurdles., [w:] (red. J. Jarver) *The hurdles* (2nd ed.), 79–81.
- [47] Brown G. 1992. Conditioning for the 400 m hurdles. *Modern Athlete and Coach* 2, 8–11. Takže: *Track Technique* 1992, 121, 3856–3858.
- [48] **Brüggeman G.P., Susanka P. 1988. IAF-IAAF Sceintific Research Project at the Games of the XXXIV Olympiad – Seoul 1988. Final Raport, IAAF, London.**
- [49] Brüggemann G.P., Glad B. (red.) Susanka P., Moravec P., Guzicka J., Barac F., Nosek M., Jurdik M., Miskos G., Lim C. 1990. Time analysis of 400 meters hurdles events. W: *Scientific research project at the Games of the XXIVth Olympiad – Seoul 1988. Biomechanical studies of sprint, hurdle and jumping events*. International Athletic Foundation, Monaco: 133–175. Takže: *New Studies in Athletics* 1990, supp. 133–151.
- [50] **Brüggemann G.P., Koszewski D., Müller H. 1999. Biomechanical Research Project. Athens 1997. Final Report. Meyer & Meyer Sport, International Athletic Foundation, Oxford.**
- [51] Bułanczik J. 1969. Zum 400-m-Hürdenlauf. *Leichtathletik* 34, *Die Lehre der Leichtathletik* 20, 1233–1236.
- [52] **Bułanczik J. 1975. Krug s barierami. Moskwa, Fizkultura i Sport.**
- [53] Bułanczik J. 1976. Nužna li model. *Legkaja Atletika* 1, 18–19.
- [54] Bułanczik J. 1982. 400 m s/b – naczialnaja podgotowka. *Legkaja Atletika* 4, Takže: (400 meter hurdles – beginning training), *Track and Field qarterly Review* 1983, 2, 49–50 oraz: (How to approach 400 m hurdles training), [w:] *Modern Athlete and Coach* 2, 23–24.
- [55] Burca I., Tofan M., Vlase S., Modrea A., 2003. Human multibody model for the kinematics identification of the hurdles race using Euler rotation. *Annals of the Oradea University*, 175–180.
- [56] **Butler M. 2012. IAAF World Indoor Championships. Statistics handbook. International Amateur Athletics Federation, Monaco.**
- [57] **Butler M. 2012. IAAF World Junior Championships in Athletics. Statistics handbook. International Amateur Athletics Federation, Monaco.**

- [58] **Butler M. 2019. IAAF World Championships in Athletics (Doha 2019). Statistics handbook. International Amateur Athletics Federation, Monaco. (Także: wcześniejsze wydania: 2011–2017)**
- [59] Canova R. 1974. Distribuzione ritmica dello sforzo nei 400 ostacoli. *Atletica Leggera* 1, 13–18.
- [60] Carnes J. 2000. Hurdle triumphs. *Track and Field Coaches Review* 3, 19–20.
- [61] **Carr G.A. 1991. Fundamentals of track and field. Leisure Press, Champaign.**
- [62] Casal N., Lopez J.L, Pena I, Rodriguez C., Oliven J., Mateos C., Balada A., Planus A. 2020. Biomechanical Analysis of the Men's 400 m Hurdles at the IAAF World Athletics Championships Doha 2019: Rhythmic Structure and Effort Distribution. W: *European College of Sport Science, Book of Abstracts (red. V. Bunc, E. Tsolakidis)*, Charles University, Praga.
- [63] Chanon R. 1991. Etude de cas de lateralization paradoxale et de leurs effets chez des coureurs de haies. *Medecine du Sport* (65), 4, 181–182; 184–185.
- [64] Charitonowa L.G. 1991. Fizjologiczeskije i biochemiczeskije aspekty adaptacji k intensywnym nagruzkom organizma biegunow na 400 m s barierami. *Teoria i Praktyka Fizycznej Kultury*, 11: 9–11.
- [65] CHEN Quan-lin, YAN Xiao-yun. 2004. Research on the change of speed of winding run in board and outboard pathes in 400m hurdle race. *Liaoning Sport Science and Technology*, 6, 44–45.
- [66] CHEN Zhi-qiang. 2004. Evaluation and analysis on kinematic characteristics of 400m hurdlers. *China Sport Science and Technology*, 2.
- [67] **Chomienkow L.C. (red) 1987. Bieg s barierami. W: Kniga trenera po legkoj atletikie. Fizkultura i Sport. Moskwa, 134–176.**
- [68] Cilik I., Kozolkova D. 2012. Body response of hurdle runners to training load in microcycle. *Antropomotoryka* (22) 57, 35–43.
- [69] *Cobner D. 2012. 400 m Hurdles Analysis Follow-Up. In: Visual Performance Analysis (www.visualperformanceanalysis.com, access 10.04 2019).*
- [70] *Guzman Colon C.A. 2013. La secuencia de los pasos y reglas tacticas del ritmo en el analisis de los 400 metros con villas. EFDeportes.com, Revista Digital, Buenos Aires 18, 184, Septiembre de 2013, <http://www.efdeportes.com>*
- [71] **Comstock B. 1929. How to hurdles. New York: American Sports Publishing Company.**
- [72] **Cooper J. 1966. The Intermediate Hurdles. Maser Thesis & Specialist Projects, Western Kentucky University.**
- [73] Covey B. 1978. Intermediate hurdling. *Track and Field quarterly Review* 4, 41–43.
- [74] Crossley G. 1988 The 400 metre hurdles – to count or not to count, that is the question. *Technical Bulletin – Ontario Track and Field Association* 49, 7–8.

- [75] Czistiakowa E.V. 2001. *Planowanie treningowocznego process biegunow na 400 metrow s barierami na osnowie dynamiki specjalnoj podgotowliennosti. Autoreferat dysertacji kandydata pedagogicznych nauk. Moskwa.*
- [76] DAI Yong, SONG Guang-lin. 2011. Evaluation on the technical characteristics of speed rhythm on elite men 400m hurdle racers. *Journal of Shandong Institute of Physical Education and Sports*, 10, 67–70.
- [77] Dakin N 2003. *National 400H Event Project – Continuity of Speed Across the Barriers.* (www.ukhurdlesclub.net; (10.04. 2019).
- [78] Dakin N. 2008. *The development of confidence for non-dominant lead leg hurdling in the 400m hurdles event.* www.ukhurdlesclub.net.(2008.-10.07).
- [79] Danišová A., Matoušek R., Szilagyi J. 1979. Vliv nekterych ukazatelu telesne pripravenosti na uroven technicke pripravenosti v bezich na 110 a 400 m prekazek. *Trener*, 12: 5–7.
- [80] Davis H., Darlington H. 1975. Comparison of times obtained by hurdlers running regulation and longitudinally adjusted hurdles. *Journal of Physical Education* 72, 5, 136–137.
- [81] Dickwach H., Wagner K. 1997. Studie zur Altersstruktur weltbester Leichtathleten. *Leichtathletik*, 17, 31-32; 18, 33–36.
- [82] Ditroilo M., Kilding A. 2004. Has the new false start rule affected the reaction time of elite sprinters? *News Studies in Athletics* (19) 1, 13–19.
- [83] Ditroilo, M., Marini M. 2000. Analysis of the race distribution for male 400 m hurdles competing at the 2000 Sydney Olympic Games. *New Studies in Athletics*, 3: 15–30. Także ([w:] red. J.Jarver *The hurdles*. 4th ed.) Analysis of the race distribution for male 400-m hurdlers at the Sydney Oympics. Tafnews Press, Mountain View, 2004, 125–130.
- [84] DLV – Trainer Sprint. 1987. Zum Aufbaustraining im Hürdenlauf. *Leichtathletik* 22, 671–674; 23,
- [85] Dobczyński L. 1985. Technika biegu na 400 m przez płotki mężczyzn. *Lekkoatletyka* 4, 17–18.
- [86] Dobrowolski W., Maszewski S. 1951. *Bieg przez płotki – z przeszkodami – sztafetowe.* Wydawnictwo GKKF, Warszawa.
- [87] Doherty K. 1953. *Modern Track and Field.* Englewood Cliffs: Prentice Hall. Także: Doherty D.K. 1958. Bariernyj bieg. [w:] *Sowremiennaja lekaja atletika.* Moskwa, Fizkultura i Sport, 120–168. (Tłumaczenie amerykańskiej pozycji z 1953 r.).
- [88] Dołgaj M.I. 1974. *Eksperimentalnoje issledowanije putiej sowierszenstwowania metodyki trenirowki w barierom biegie na 400 metrow.* Autotef. dis. kand. ped. nauk. Moskwa.
- [89] Dołgij 1980. Faktory uspiecha w bariernom biegie. *Legkaja Atletika*, 8: 10. Także: Factoren des Erfolgs im 400-m-Hürdenlauf, *Der Lehre der Leichtathletik* 14, 467–468; oraz: 400 metres factors *Modern Athlete and Coach* (20), 3, 38–39.

- [90] Dołgij M. 1976. 110 i 400 m. s/b. *Legkaja Atletika* 9, 19–20. Także: (Der Zusammenhang zwischen 110-m- und 400-m-Hürdenlauf), *Leichtathletik* 1976, 4, 125; 128.; oraz (Hurdles distances are related). *Modern Athlete and Coach* 1976, 4.
- [91] Donzelli O. 1993. Ciclo Olimpico e scomposizione canonica di una serie storica di una specialità di atletica leggera a livello di élita mondiale. *Atleticastudi* 4, 185–207.
- [92] Dostal E. 1973. Čtvrkař prekážkař musí mit obe nohy „prave“. *Atletika* 5, 21.
- [93] **Dostal E. 1974. Prekazkový beh na 400 m, [w:] *Technika lehkootletických disciplin*. Praha, SNP, 101-110.**
- [94] Duffield R., Dawson B., Goodman C. 2005. Energy system contribution to 400 metre and 800-metre track running. *Journal of Sports Sciences*, 23, 3, 299–307.
- [95] Dyson G.H.. 1962. *The mechanics of athletics*. London, University of London Press; 92–107, 136–137. (7th ed. – London, Sydney, Toronto: Hodder & Stoughton, 1977). Także późniejsze wydania: Dyson G.H.G. 1967. Hurdling and steeplechasing, W: *The Mechanics of Athletics* (4th ed.). London, University of London Press LTD, 125–134. Także: *The mechanics of athletics*. Los Altos (Cal): Trafnews Press, 1970, 129–147.
- [96] Ecker T. 1977. Hurdling the intermediates. *Athletic Journal* 3, 50.
- [97] Erdmann W. 1975. Pomiary antropometryczne i położenie środka ciężkości ciała u zawodników kadry narodowej 400 m przez płotki. *Roczniki Naukowe*, Gdańsk, Wyższa Szkoła Wychowania Fizycznego, 131-146.
- [98] **Erdmann W. 1976. Biomechaniczno-morfologiczne kryteria selekcji zawodników do biegu na 400 m przez płotki. Praca doktorska. Maszynopis. AWF Gdańsk-Poznań.**
- [99] Erdmann W.S., Aschenbrenner P., Dargiewicz R., Lipińska P., Urbański R. 2006. Biomechanical investigations of sport tactics of the world level competitors. *Research Yearbook* 2, 232–236.
- [100] Falbiard M., Mohr M., Aminian K. 2020. Hurdle Clearance Detection and Spatiotemporal Analysis in 400 Metres Hurdles races Usind Shoe-Mounted agnetic and Interial Sensors. *Sensors*, 20, 354; doi: 10.3390/s20020354.
- [101] Ferro A., Riviera A., Pagola I. i wsp. 2001. Biomechanical research project at the 7th World Championships in Athletics Seville 1999. *New Studies in Athletics* 16 (12), 25–60.
- [102] Foster C., Schrager M., Snyder A.C., Thompson N.N. 1994. Pacing strategy and athletic performance. *Sports Medicine* (17) 4, 77–85.
- [103] **Gambetta V. 1975. *Hurdling and Steeplechasing*, “Ranners World”, Booklet No. 38**
- [104] **Gambetta V., Hill D. 1981. *Hurdling*, [w:] *Track and Field coaching manual*, (red. V.Gambetta), West Point N. Y.,72–78.**

- [105] Gasilewski J., Hyjek J. 2009. Zmiany rytmu kroków i tempa biegu na 400 m przez płotki w grupie juniorów uczestniczących w Mistrzostwach Polski w Lekkoatletyce w 2008 roku. *Rozprawy Naukowe AWF we Wrocławiu*, 650–655.
- [106] Gasilewski J., Hyjek J., Iskra J., Hyjek K., Paruzel-Dyja M. 2014. Selection of dominant leg in hurdle races. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis Gymnica* vol. 43, suppl. 1, 49.
- [107] Gasilewski J., Iskra J. 2007. Budowa ciała a wyniki biegów przez płotki o różnej wysokości i zmiennych odległościach. *Rozprawy Naukowe AWF, Wrocław*, (25), 1, 92–96.
- [108] Gasilewski J., Iskra J., Hyjek K., Paruzel-Dyja M. 2014. Funcjonal asymetry and predomance of limbs in hurdle races, [w:] „*Atletika 2014*”, (red. I. Cilik, M. Papis, R.Tataruch), Univerzita Mateja Bela, Banska Bystrica, 24–36.
- [109] Gheorghie D, Ivan P. 2019. Study of top athletes at 400 m hurdles. *PlosOne* (14), 3 e0204185.
- [110] Glad B., Brüggemann G.-P. 1990. Time analysis of 400 meters hurdles events In: *Scientific research project at the Games of the XXIVth Olympiad – Seoul 1988. Biomechanical studies of the sprint, hurdle and jumping events*. Monaco, International Athletic Foundation, 132–175.
- [111] GONG Ming-xin, HUANG Yong, GUO Jun-ren. 2003. Discussion on technique of gold and silver medalists of men’s 400m hurdle of the 9th National Games. *Journal of Shanghai Physical Education Institute*, 1, 42–45.
- [112] Gonzalez-Mohino F., Santos del Cerio J., Renfree A.Y., Gonzalez-Rave J.M. 2019. The reationships between tactical positioning and race outcome in 800-m running at the 2016 Olympic Games and 2017 IAAF World Championship. *Journal of Human Kinetics* 71, 299–305.
- [113] Graff K.H., Münster H.P., Weicker H. 1983. Modell einer Trainings – beratung bei 400-m-Hürdenlaufem. *Lehre der Leichtathletik* 42, 1443–1446
- [114] Gralka H. 1962. Trening i wybór rytmu na 400 m ppł. *Lekka Atletyka* 7, 16–17.
- [115] **Gralka H. 1964. Bieg przez płotki. Sport i Turystyka. Warszawa.**
- [116] Graubner R., Nixdorf E. 2011. Biomechanical analysis of the sprint and hurdles events at the 2009 IAAF World Championships in Athletics. *New Studies in Athletics* (26), 1–2, 19–53. Także: (red. H. Hommel) 2009. Biomechanical analyses of selected events at the 12th IAAF World Championships in Athletics, Berlin 15–23 August 2009. *A project by the German Athletics Federation. DLV Scientific Research Project*.
- [117] Grebeniuk O. 2017. An interrelation of physical and technical teadiness as a basis in sport result achievement of 400 m hurdles. *Slobozhanskyi Herald of Science and Sport* (58), 2, 25–29.
- [118] Grebeniuk O. 2018. Increasing the level of preparedness of 400 m hurdles runners by means of hypoxic exposure as a basis for achieving a sporting result. *Slobozhanskij Naukowo-Sportivnij Visnik* (68), 6 65–69.

- [119] Green D., Leyshon W., O'Donoghue R.G. 2008. Elite male 400m hurdle tactics are influenced by race leader, [w:] *World Congress of Performance Analysis of Sport 8*, Magdeburg, September.
- [120] **Greene D. 2008. Performance analysis of elite 400 m hurdles races. Unpublished BA Hon thesis. Cardiff, University of Wales Institute.**
- [121] Guex K. 2012. Kinematic analysis of the women's 400m hurdles. *New Studies in Athletics* (29), 1-2, 41-51.
- [122] GUO Jie-min, ZHANG Kai. 2007. Study on relationship between the rhythm and performance of 400m hurdles. *Journal of Hubei Sports Science*, 3, 285-287.
- [123] Gupta S., Goswami A., Mukhopodhayay S. 1999. Heart rate and blood lactate in 400m flat and 400m hurdles running. A comparative study. *Indian Journal of Physiology and Pharmacology* 43, 361-366.
- [124] Gupta S., Stanula A., Goswami A. 2021. Peak Blood Lactate Concentration and its Arrival Time Following Different Track Running Events in Under-20 Male Track Athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performances* 12, 1-9. doi: 10.1123/ijsp.2020-0685.
- [125] Hanley B. 2015. Pacing profiles and pack running at the IAAF World Half Marathon Championships. *International Sport Sciences* 33 (11): 1189-1195.
- [126] Hanley B., Hettinga FJ. 2018. Champions are racers, not pacers: an analysis of qualification patterns of Olympic and IAAF World Championships middle distance runners. *Journal of Sport Sciences* 36 (22) 2614-2620.
- [127] Hanley B., Hettinga F. 2021. Meso-pacing in Olympic and World Championship sprints and hurdles: Medalists save their best for the final. *Journal of Sports Sciences* (39), 22, 2611-2617.
- [128] Hannon C., Thomas C. 2011. Effects of optimal pacing strategies for 400-, 800 and 1500-m races on the VO₂max response. *Journal of Sport Sciences* 29 (9), 905-912. [https://doi.org/10.1080/02640414.2011.562232. PMID 21547833].
- [129] **Harrison T. 1993. Kriss Akabusi on Track. A Lion Book, Oxford.**
- [130] **Haughton G. 2016. Archive Your Highest Athletic Potential. Secrets to success in the 400 meter hurdle. Houghton Mentoring Group.**
- [131] Hay, L., Schoebel, P. 1990. Spatio-temporal invariants in hurdle racing patterns. *Human Movement Science*, 1: 37-54.
- [132] **Hayek N. 2012. Great Olympic Moments in Time. A Company the Swatch Group, Switzerland.**
- [133] Hegedüs J. de 2011. Historia de los records mundiales de los 400 metros con vallas, verones. Revista Digital, Buenos Aires 16, 159, Agosto de 2013, <http://www.efdeportes.com>
- [134] Hemeed I.R., Bakee M.Z., Hassan Z.M.A. 2020. Special exercises by a training device and its impact on some bio-mechanical variables and on ran the 400m hurdles under 20 years' old. *International Journal of Psychosocial Rehabilitation*, (24) 4, 8364-8370.

- [135] **Hemery D. 1976. *Another hurdle*. London, Heinemann.**
- [136] Hemery D., Houdson F. 1969. *Olimpischer 400-m-Hürdenlauf 1968 in Zahren. Leichtathletik* 34:1236–1238.
- [137] Herz A. 1993. Training methods for the low hurdles. *Technical Bulletin NACAC* 3, 26.
- [138] **Hiller J. 2012. *400m Hurdles Technical Report – London 2012*. (www.ucoach.com); (access: 10.04.2014)**
- [139] Hirsch W. 1975. 440 intermediate hurdles – continuous change. *Track and Field quarterly Review* 3, 50–54.
- [140] Hirt H. 2002. Mit 13er-rhythmus ins Ziel. Methodische Überlegungen zur Ausdauer im 400-m-Hürdenlauf. *Leichtathletik* 22, Także: [w:] (red. J.Jarver *The hurdles*. (4th ed.) *A 13-stride rhythm to the finish*, Tafnews Press, Mountain View, 2004, 112–114.
- [141] **Hiserman J. 2008. *A program design method for sprint & hurdle training*. Jim Hiserman, C.S.C.S.**
- [142] **Hiserman J. 2011. *The art of long hurdling*. Coil Bound.**
- [143] **Hoke R.J. 1943. *Hürdenlauf*. Wilhelm Limpert Verlag. Berlin. (1st ed. 1936)**
- [144] Hollings S.C., Hopkins W.G., Hume P.A. 2012. Environmental and venue-related factors affecting the performance of elite male track athletics. *European Journal of Sport Science* (12), 3, 201–206.
- [145] **Homienkow L.S. (red) 1987. Bieg s barierami. W: *Kniga trenera po legkoj atletikie*. Fizkultura i Sport. Moskwa, 134–176.**
- [146] **Homienkow L.S., Stepanczenok I.A 1950. Bariernyj bieg. Trenirowka w bariernom biegie, [w:] *Legkaja atletika*, Moskwa, Fizkultura i Sport, 23–28; 162–170.**
- [147] **Hommel H. (red.) 2009. Scientific research project biomechanical analyses at the 12th IAAF World Championships in Athletics, Deutscher Leichtathletik-Verband, Darmstadt.**
- [148] Hommel H., Koszewski D. 1999. *Biomechanical Research Project. Athens 1997. 400 m Hurdles*. Meyer & Meyer Sport, Oxford.
- [149] Hughes M., Bartlett R. 2002. Performance Indicators in Performance Analysis. *Journal of Sports Sciences* 20, 738–764.
- [150] **Hughes M., Franks I. 2008. *The Essentials of Performance Analysis*. E&FN Spon, London.**
- [151] **Hyjek J. 2014. *Czynniki warunkujące rytm w biegu przez płotki osób o różnym poziomie zaawansowania*. Praca doktorska. AWF, Katowice.**
- [152] Hyjek J., Iskra J. 2010. Lead leg changes in hurdle race by regular and irregular hurdle layout. *11th International Sport Science Congress*. Abstract Book, 260–261, Gazi University, Antalya.
- [153] 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 (2), 190–195.

- [154] **Hymans R. 2020. IAAF progression of word best performances and official world records. (6th. ed.). International Amateur Athletics Federation, Monaco.**
- [155] Iskra J. 1991a. Endurance in the 400 metres Hurdles. *New Studies in Athletics* 2, 43–50. Także: La Resistance dans le 400 Metres Haies. *Association des Entraîneurs Français d’Athlétisme* 125, 31–37 + Iskra J. 1997. Endurance in the 400 m hurdles, [w:] (red. J. Jarver). *The hurdles. Contemporary theory, technique and training*. Los Altos: 90–94, 104–109.
- [156] Iskra J. 1991b. Wytrzymałość biegowa w treningu płotkarza. *Trening* 3, 48–56.
- [157] Iskra J. 1993a Wytrzymałość siłowa w biegu na 400 m ppł. *Lekkoatleta* 3, 15.
- [158] Iskra J. 1993b. Testy i sprawdziany w treningu płotkarzy. *Lekkoatleta*, 11: 10–11
- [159] Iskra J. 1993c. Wytrzymałość siłowa w biegu na 400 m ppł. *Lekkoatleta* 3, 15
- [160] Iskra J. 1994a. Kontrola treningu wytrzymałości płotkarzy w oparciu o częstość skurczów serca. *Zeszyty Metodyczno-Naukowe, AWF, Katowice*, (5), 353–365.
- [161] Iskra J. 1994b. Struktura treningu wytrzymałości płotkarzy na 400 m, [w:] (red. P. Kowalski) *Problemy badawcze w lekkoatletyce*. AWF Wrocław, 11–23.
- [162] Iskra J. 1994c. Trening rytmowy płotkarza – 100 sposobów na właściwą organizację zajęć. *Trening* 4, 155–165.
- [163] Iskra J. 1994d. Trening wytrzymałości rytmowej w biegu na 400 m przez płotki w okresie przygotowania specjalnego. *Lekkoatleta*, 11, 10–11.
- [164] Iskra J. 1994e. Zależność wyników w biegu na 400 m przez płotki od wyodrębnionych parametrów czasowych w praktyce szkolenia. *Trening* 2, 109–117.
- [165] Iskra J. 1995a The most effective technical training for the 110 meters hurdles. *New Studies in Athletics* 1, 51–55.
- [166] Iskra J. 1995b. Bezpośrednie przygotowanie startowe na przykładzie biegu na 400 m przez płotki. *Lekkoatletyka* 5, 21–23.
- [167] Iskra J. 1995c. Rejestr grup środków treningowych treningu w biegu na 400 m ppł. [w:] (red. H. Sozański i D. Śledziwski) *Obciążenia treningowe – dokumentowanie i opracowywanie danych*. Warszawa, RCMSKFiS, 84–91.
- [168] Iskra J. 1995d. Wytrzymałość biegowa w treningu płotkarzy na 400 m. *Lekkoatleta* 4, 13–14.
- [169] Iskra J. 1996a. Charakterystyka rytmu w biegu na 400 m przez płotki. *Trening*, 4, 41–60.

- [170] Iskra J. 1996b. *Przygotowanie rytmowe w biegu na 400 m przez płotki*. Resortowe Centrum Metodyczno-Szkoleniowe Kultury Fizycznej i Sportu, Warszawa [maszynopis].
- [171] Iskra J. 1996c. Struktura przygotowania siłowego i wytrzymałościowego w rocznym cyklu szkolenia płotkarzy na 400 m. *Trening* 2, 84–92.
- [172] Iskra J. 1996d. W poszukiwaniu czynników decydujących o poziomie wyniku w biegu na 400 m przez płotki. *Sport Wyczynowy*, 11–12, 35–49.
- [173] Iskra J. 1996e. Wytrzymałość szybkościowa w biegach sprinterskich i przez płotki. *Lekkoatleta* 6, 21–23.
- [174] Iskra J. 1997a. Endurance in the 400 m hurdles, [w:] (red. J. Jarver). *The hurdles. Contemporary theory, technique and training*. Los Altos: 104–109.
- [175] Iskra J. 1997b. The most effective technical training for the 110 m hurdles. Endurance in the 400 m hurdles, [w:] (red. J. Jarver). *The hurdles. Contemporary theory, technique and training*. Los Altos, 90–94, 104–109.
- [176] Iskra J. 1997c. 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.
- [177] Iskra J. 1997d. Wpływ wybranych parametrów na wyniki w biegu na 400 m. przez płotki, [w:] (red. E. Wachowski, R. Strzelczyk) *Wychowanie fizyczne i sport w badaniach naukowych*. AWF Poznań, 45–47.
- [178] Iskra J. 1997e. Zróżnicowanie rocznych obciążeń treningowych płotkarzy, [w:] (red. J. Ślężyński) *Teoretyczne i praktyczne aspekty aktywności ruchowej człowieka*. AWF Katowice, 57–62.
- [179] **Iskra J. 1998. *Bieg przez płotki: teoretyczne podstawy i praktyczne rozwiązania treningowe*. Akademia Wychowania Fizycznego, Katowice.**
- [180] **Iskra J. 1999a. *Bieg na 400 m przez płotki. Przygotowanie sprawnościowe i techniczne na różnych poziomach zaawansowania*. Wyższa Szkoła Pedagogiczna, Rzeszów.**
- [181] Iskra J. 1999b. Characteristics of the training of European 400 m hurdles champion. *Modern Athlete and Coach* (37) 3, 20–23.
- [182] Iskra J. 1999c. Diagnostics of the tests of general and special character at different stages of specialization in hurdles. *Wychowanie Fizyczne i Sport*, 1 (suppl.): 220–221.
- [183] Iskra J. 1999d. Paweł Januszewski breaks through at the European Championships. *Track Coach* 147: 4691–4697. Także [w:] *The hurdles Contemporary theory, technique and training* (red. J. Jarver). Tafnews Press, Los Altos, 2004, 131–138.
- [184] Iskra J. 1999e. Volume changes of selected training media and progress of results in 400 m hurdles. *Wychowanie Fizyczne i Sport* 1 (suppl.): 222–223.

- [185] Iskra J. 2000. Budowa somatyczna płotkarzy i jej związek z poziomem wyników. *Wychowanie Fizyczne i Sport*, 1, 61–87.
- [186] Iskra J. 2001a. Budowa somatyczna płotkarzy w świetle analizy czynnikowej. *Zeszyty Metodyczno-Naukowe AWF*, Katowice, 11, 161–176.
- [187] Iskra J. 2001b. Faktornaja struktura trenirowocznych nagruzok biegunow na 400 m s barierami. *Teoria i Praktyka Fizycznej Kultury* (46), 4, 28–31. Także: lib.sportedu.ru/press/tpfk/2001n4/p28-31. (2010.10.10).
- [188] **Iskra J. 2001c. *Morfologiczne i funkcjonalne uwarunkowania rezultatów w biegach przez płotki*. Katowice: Akademia Wychowania Fizycznego.**
- [189] Iskra J. 2003a. Rytm płotkarski a budowa somatyczna i wytrzymałość specjalna w grupie płotkarzy na 400 m. W: *Kierunki doskonalenia treningu i walki sportowej* (red. H. Sozański, K. Perkowski, D. Śledziwski), AWF, Warszawa, 128–130.
- [190] Iskra J. 2003b. Wpływ wybranych elementów rytmu płotkarskiego na wynik w biegu na 400 m przez płotki. *Sport Wyczynowy* 9-10, 25–36.
- [191] **Iskra J. 2005. *Rozwój biegów przez płotki na świecie i w Polsce do 2004 roku*. Opole, Politechnika Opolska.**
- [192] Iskra J. 2006. Wybrane elementy szkolenia w biegu na 400 metrów przez płotki. *Forum Trenera* 1–2, 12–16.
- [193] Iskra J. 2007. Wykorzystanie badań biomechanicznych w doskonaleniu procesu treningowego płotkarzy na 400 m, [w:] (red. Cz. Urbanik) *Biomechanika ruchu*. Wybrane zagadnienia Warszawa, Akademia Wychowania Fizycznego, 85–94.
- [194] Iskra J. 2008a. Changes of stride pattern of world class 400-m hurdlers – reasons and consequences. W: *International Convention on Sciences, Education and Medicine in Sport*, People’s Sports Publishing House, Beijing, Conference proceedings, vol. I, 159.
- [195] Iskra J. 2008b. Kinematic parameters of „dominant” and „alternate” lead leg in 400-m hurdle clearance technique, [w:] (red. G.Juras, K.Słomka): *Current Research in Motor Control III. From Theories to Clinical Applications.*, Katowice, Academy of Physical Education, 263–270.
- [196] Iskra J. 2008c. Wzorzec kroków a międzyczasy biegu na 400 m przez płotki mężczyzn, [w:] (red. A. Kuder, K. Perkowski, D. Śledziwski) *Kierunki doskonalenia treningu i walki sportowej – diagnostyka*, Akademia Wychowania Fizycznego, Warszawa, 331–333.
- [197] Iskra J. 2010. “Rhythm” training in 400 m hurdle race. *Atletika 2010* (red. J. Vinduskova), Univerzity Karlovy, Praga, 34–38.
- [198] Iskra J. 2011. Trening rytmowy w biegu na 400 m przez płotki. *Magazyn Lekkoatletyczny/Zeszyt Szkoleniowy* 2/9-10, 11–15.
- [199] Iskra J. 2012a. Athlete typology and training strategy in the 400m hurdles. *New Studies in Athletics* (27), 1–2, 27–37.
- [200] **Iskra J. 2012b. *Badania naukowe w biegach przez płotki*. AWF, Katowice.**

- [201] Iskra J. 2012c. Bezpośrednie przygotowanie startowe na przykładzie biegu na 400 m przez płotki, [w:] (red. A. Kuder, K. Perkowski, D. Śledziwski) *Proces doskonalenia treningu i walki sportowej*. Tom 9. PTNKF, Warszawa, 37–40.
- [202] **Iskra J. 2012d. Lekkoatletyczne tabele olimpijskie (Track and field Olympic tables). Politechnika Opolska.**
- [203] Iskra J. 2012fe Wyniki badań naukowych a praktyka szkolenia płotkarzy, [w:] (red. A. Kuder, K. Perkowski, D. Śledziwski) *Proces doskonalenia treningu i walki sportowej*. Tom 9. PTNKF, Warszawa, 103–115.
- [204] **Iskra J. 2013a. Advanced training in the hurdles. Polish Athletic Association/Opole University of Technology.**
- [205] Iskra J. 2013b. Rhythm training in 400 m hurdles, [w:] *European Horizontal Jumps and Hurdles Symposium*, Falun, Szwecja, www.sub13.se (2014.12.12).
- [206] Iskra J. 2013c. Strength Training in 400 m Hurdles, [w:] (red. J. Brodani) *Atletika* 2013, 34–44.
- [207] Iskra J. 2013d. Trening siłowy w biegu na 400 m przez płotki. *Magazyn Lekkoatletyczny/Zeszyt Szkoleniowy* 5/9–10, 6–12.
- [208] Iskra J. 2013e. Trening zimowy (halowy) płotkarzy na 400 m. *Magazyn Lekkoatletyczny/Zeszyt Szkoleniowy* 2/3–4, 6–9.
- [209] Iskra J. 2013f. Winter (indoor) training in 400 m hurdles, [w:] *European Horizontal Jumps and Hurdles Symposium*, Falun, Szwecja, www.sub13.se (2014.12.12).
- [210] Iskra J. 2014a. Przebieg kariery sportowej płotkarzy na 400 m – wiadomości teoretyczne i uwagi dla trenerów. *Magazyn Lekkoatletyczny/Zeszyt Szkoleniowy* 3/5–6, 6–10.
- [211] Iskra J. 2014b. Selekcja i przygotowanie podstawowe w biegu na 400 m przez płotki. *Magazyn Lekkoatletyczny/Zeszyt Szkoleniowy* 2/3–4, 4–10.
- [212] **Iskra J. 2014c. Trening płotkarzy na 400 m. Akademia Wychowania Fizycznego, Katowice.**
- [213] Iskra J. 2019. In search of temporal characteristic in men's 400 m hurdle race, [w:] (red. I. Cilik i wsp.) „*Atletika 2019*”, Univerzity Mateja Bela, Banská Bystrica, 34–42.
- [214] Iskra J., Marcinów R., Walaszczyk A. 2022. Changes in the 400m hurdle run strategy after August 3, 2021 – revolution or just a progress, [w:] (red. T. Kampmiller i wsp.) „*Atletika 2022*”) Univerzitat Komenskeho, Bratislava, 20–28.
- [215] Iskra J., Bacik B. 2001. Hurdle clearance technique of European 400 m hurdles champion in 1996–1998, [w:] (red. V. Strijnik, A. Usaj), *Theories of Human Motor Performance and their Reflection in Practice. 6th Sport Kinetics Conference '99. Proceedings 2*, Ljubljana, Kinesiology (supp.), 42–44. Także: Hurdle clearance technique of European Champion in 400 m. *Kiesiologia Slovenica*, 1999, 5: 70.

- [216] Iskra J., Bacik B., Król H. 2000. The effect of specific exercises on changes in hurdle technique, [w:] *Current research in motor control*, (red. J.Raczek, Z. Waśkiewicz, G. Juras). AWF, PTNKF, Katowice: 104–110.
- [217] Iskra J., Ćorluka M., Vodicer J., Maćkała K. 2021. Extended analysis of types of stride pattern and pacing strategy in 400 m hurdle run. *Acta Kinesiologicala* 1, 15–23.
- [218] Iskra J., Čoh M. 2006. Review of biomechanical studies in hurdle races. *Kinesiologia Slovenica* (12),1, 84–102.
- [219] Iskra J., Čoh M. 2011. Biomechanical studies on running the 400 m hurdles. *Human Movement* (12), 4, 315–323.
- [220] Iskra J., Gasilewski J. 2007. Gibkość w treningu płotkarza – prawdy szkoleniowe i empiryczne. *Sport Wyczynowy* 4-6,36-50
- [221] Iskra J., Gasilewski J., Hyjek J., Walaszczyk A. 2013. Effect of methods of teaching hurdling of changes in functional asymmetry of legs. *Antropomotoryka* 63, 27–37
- [222] Iskra J., Gasilewski J., Hyjek J., Zając R. 2012. Teaching methods in hurdle races and results in special and laboratory tests, [w:] (red. G. Juras, K. Słomka) *“Current research in motor control. Part IV”*, AWF, Katowice, 41–48.
- [223] **Iskra J., Gasilewski J., Szepelawy M., Wesołowska J. 2013. *Czasowe i przestrzenne parametry biegu przez płotki a budowa ciała i przygotowanie motoryczne młodzieży. Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Raciborzu.***
- [224] Iskra J., Jarząbek R. 1996. Informatywność testu Wingate w ocenie sprawności specjalnej sprinterów i płotkarzy. *Trening* 1, 52–60.
- [225] Iskra J., Kosmol A. 1994. Analiza wieloletniego cyklu treningowego biegacza – 400 m ppł. *Sport Wyczynowy* 11–12, 32–43
- [226] Iskra J., Nowak K. 1991. Nie ma papierkowych rozwiązań. *Trening* 4, 137–143.
- [227] Iskra J., Pietrzak M. 2014. Sports career in men’s 400 m hurdles run. W: *“Atletika 2014”*, (red. I.Cilik, M.Pupis, R.Tataruch), Univerzita Mateja Bela, Banská Bystrica, 517–523.
- [228] Iskra J., Pietrzak M. 2016a. „Stride pattern” w ocenie mistrzostwa sportowego w biegu na 400 m przez płotki mężczyzn, [w:] (red. C. Kusnierz i wsp.) *Wykorzystanie badań naukowych w wychowaniu fizycznym i sporcie*. Politechnika Opolska, 91–100.
- [229] Iskra J., Pietrzak M. 2016b. Flat versus rhythm endurance in 400 m hurdle training. *Atletika 2016*, Univerzita Komenskeho, Bratislava, 28–33. (ISBN 978-80-89257-72-0).

- [230] Iskra J., Pietrzak M., Paruzel-Dyja M. 2015. The 400 meters hurdles event and the changes in the tactical race strategies in men prior and after the 2000, [w:] (red. P. Cervinka, A. Kaplan, V. Hojka, K. Volfova) *Atletika 2015*, Univerzity Karlovy, Praha, 32–38. Także: Iskra J., Pietrzak M., Paruzel-Dyja M. 2015. The 400 metres hurdles event and the changes in the tactical race strategies in men prior and after the 2000. *Česka Kinantropologie* 3, 75–84.
- [231] Iskra J., Przednowek K. 2016. Influence of fatigue in the selected kinematic parameters of hurdle clearance in 400 metre race – in serach of an accurate training test. *34th International Conference on Biomchanics in Sports, ISBS Conference Proceedings Archive (open access)*, 687–690.
- [232] Iskra J., Przednowek K. 2017. Ocena prędkości liniowych wybranych segmentów kończyn górnych w czasie marszu przez płotki, [w:] *Symposium Biomechaniki Sportu i rehabilitacji*, AWF Warszawa, Streszczenia, 9–10.
- [233] Iskra J., Przednowek K., Krzeszowski T., Wiktorowicz K., Pietrzak M. 2017. Kinematic Analysis of the Upper Limbs in Stepping over Hurdle The Use of IMU-based Motion Capture. W: *Proceedings of the 5th International Congress on Sport Sciences Research and Technology Support (icSPORTS 2017)*, 102–106.
- [234] Iskra J., Przednowek K., Walaszczyk A. 2014. Mathematical supplementation of men's 400 m hurdles training, [w:] "*Atletika 2014*", (red. I. Cilik, M. Pupis, R. Tataruch), Univerzita Mateja Bela, Banska Bystrica 37–43.
- [235] Iskra J., Przednowek K., Walaszczyk A. 2014. Sport career in 400 m hurdle run in various groups of the best athletes in the world, [w:] (red. A. De Haan, C.J. De Ruiter, E. Tsolakidis) *19th Annual Congress of the European College of Sport Science*, VU University Amsterdam, VU University Medical Center Amsterdam, 570.
- [236] Iskra J., Przednowek K., Wiktorowicz K., Krzeszowski T. 2017. The use of artificial neural networks in supporting the annual training in 400 meter hurdles. *Central European Journal of Sport Sciences and Medicine* 17 (10), 15–24.
- [237] Iskra J., Szade B., Poprzęcki S. 2000. Próba oceny potreningowych zmian adaptacyjnych w zakresie wybranych parametrów biochemicznych krwi w grupie płotkarzy o wysokim poziomie sportowym, [w:] (red.: E. Mleczko, R. Wasztyl). Akademia Wychowania Fizycznego w Krakowie, *Zeszyty Naukowe*, 79: 65–71.
- [238] Iskra J., Tataruch R., Borysiuk Z., Sadowska-Krepa E., Walaszczyk A. 2015. Spatio-temporal characteristics of hurdle runs and ergometric tests during athletic preparation. *Brazilian Journal of Kinanthropometry and Human Performance* 1, 51–61.

- [239] Iskra J., Tataruch R., Paruzel-Dyja M. 2012. Historical aspects of changes in stride pattern in men's 400-m hurdle run. In: *International Convention on Science, Education and Medicine in Sport (ICSEMIS) 12012*, Brunel University, Glasgow.
- [240] **Iskra J., Tataruch R., Skucha J. 2013. *Trening mistrzowski w biegach przez płotki*. Politechnika Opolska/ Polski Związek Lekkiej Atletyki, Opole/Warszawa.**
- [241] Iskra J., Walaszczyk A. 1994. Optymalny wiek mistrzostwa sportowego w biegu na 400 m ppł kobiet i mężczyzn, [w:] *Problemy dymorfizmu płciowego w sporcie*. AWF Katowice, PTNKF, 173–179.
- [242] Iskra J., Walaszczyk A. 2003. Anthropometric characteristics and performance of 110 m and 400 m male hurdlers. *Kinesiology* (35), 1, 36–47.
- [243] Iskra J., Walaszczyk A. 2007a. Rytm w biegu na 400 m przez płotki – w zgodzie z praktyką lekkiej atletyki z teorią motoryczności, [w:] red. A. Kuder, K. Perkowski, D. Śledziewski). *Kierunki doskonalenia treningu i walki sportowej – diagnostyka*. PTNKF, Studio AWP, tom. 4, pp. 211–214.
- [244] Iskra J., Walaszczyk A. 2007b. Types of stride pattern and time distribution in elite 400-m hurdlers. *Motor Control*, vol. 11, suppl., 185–186 (abstract).
- [245] Iskra J., Walaszczyk A. 2007c. Zdolności rytmizacji w świetle założeń teoretycznych i praktyki biegu na 400 m przez płotki. *Rozprawy Naukowe AWF*, Wrocław, (25), 1, 54–59.
- [246] Iskra J., Walaszczyk A. 2011. Direct starting preparation (taper). The case of 400m hurdles race. *Atletica 2011*, Bratysława, ABL Print, 53–57.
- [247] Iskra J., Walaszczyk A. 2013. Od plebejskiej rekreacji do sportu olimpijskiego. W poszukiwaniu rodowodu biegu na 400 m przez płotki, [w:] (red. J. Nowocień, K. Zuchora) *Sport w kulturze zdrowia, czasu wolnego i edukacji olimpijskiej*. AWF, Polska Akademia Olimpijska, Warszawa, 459–470.
- [248] Iskra J., Walaszczyk A., Mehlich R., Principles of 400-m hurdle training. 2006. *Track Coach*, 177, 5641. Także: Principles of 400-m hurdle training depending of motor abilities and technical skills, *People, participation and performance, 13th Commonwealth International Sport Conference*, Melbourne, 2006, 54–55. Także: www.atletiek.co.za (2008.11.24).
- [249] Iskra J., Walaszczyk A., Paruzel-Dyja M. 2006. Skill Types and Training Loads in Men's 400m Hurdle Run. *Antropomotoryka* 34, 41–46. Także: *People, participation and performance, 13th Commonwealth International Sport Conference*, Melbourne, 2006, 51–52.
- [250] Iskra J., Walaszczyk A., Wojnar J. 2010. A study of experimental hurdle race training. *11th International Sport Science Congress*. Abstract Book, 360, Gazi University, Antalya.
- [251] Iskra J., Widera J. 2001a. Obciążenia treningowe w biegu na 400 m przez płotki na różnym poziomie zaawansowania. *Trening*, 2, 45–52

- [252] Iskra J., Widera J. 2001b. The training preparation of the world-junior 400-m hurdles champion. *Track Coach* 156, 4980–4984, 4997.
- [253] Iskra J., Zając A., Waškiewicz Z. 2006. Laboratory and field tests in evaluation of anaerobic fitness in elite hurdlers. *Journal of Human Kinetics* 16, 25–38.
- [254] Ivan P., Gheorghe D. 2019. Study on top athletes at 400 m hurdles. *EDU World 2018. The 8th International Conference. The European Proceedings os Social & Behavioural Sciences*, 582–588.
- [255] Januszewski P. 2004. *Obciążenia treningowe w biegu na 400 m przez płotki w grupie płotkarzy o wysokim poziomie zaawansowania*. (praca magisterska). Politechnika Opolska, Wydział Wychowania Fizycznego i fizjoterapii, Opole.
- [256] Jarver J. (red.). 1981. *The hurdles. Contemporary theory, technique and training*. Los Altos, CA, Tafnews Press (1st ed.). Także następne edycje: 2nd ed./1991 3rd ed./1997 4nd ed./2004)
- [257] Jirka J. 1984. Rozbor startů na mistrovství světa v Helsinkach. *Atletika* 5, 16–17.
- [258] Joch W., Hasenberg R. 1990. Über der Zusammenhang zwischen Startreaktionszeit und Sprintleistung. *Leistungssport* 1, 36–38.
- [259] Jolly S. 1989. 400 m hurdles, [w:] *The Athletic Congress's track and field coaching manual*. Champaign, Leisure Press, 89–92.
- [260] Jonath U. 1960. Der 400-m-Hurdenlauf in Rom. *Leichtathletik*, 41, 14–15.
- [261] Jonath U. 1962. Renntaktik und Tempokontrolle im 400-m-Hürdenlauf. *Leichtathletik* 44, *Die Lehre der Leichtathletik* 20, 34.
- [262] Jonath U., Krempel R., Haag E., Müller H. 1995. Der Hürdenlauf, [w:] *Leichtathletik 1. Laufen*. Rowohlt/IAAF, Hamburg, 281–350.
- [263] Jonow D.P. 1955. *Bariernyj bieg*. Moskwa, Fizkultura i Sport.
- [264] Julin A. 1975. Modeli biega. *Legkaja Atletika* 9, 20–21.
- [265] Julin A. 1985. 13 szagow do bariera. *Legkaja Atletika* 8, 12–14.
- [266] Juszek B. 1975. Temp i ritm. *Legkaja Atletika* 9, 25.
- [267] Juszek B.N., Wiłkow N.P. 1987. *Metodiczeskije rekomendacii po planirowaniu trenirowocznowo processa biegunow na 100, 110, 400 m s barierami w godicznom cikle*. Gosudarstwiennyj Komitet USSR po Fiziczeskoj Kulturie i Sportu. Kijów.
- [268] Kampmiller T, Kostial J. 1986. Prekážkové behy, [w:] (red. A. Kuchén i wsp.) *Teória a didaktika atletyki*. Bratislava, SPN, 121–138.
- [269] Karube S., Hirai T., Watanabe C. 2003. Research in the subjective estimation that athlete in 400m hurdles. *Bulletin of sports and physical education research center*, Hosei University, 21, 15–21.
- [270] Kaufmann E. 1976. Biomechanical analysis of intermediate and steeplechase hurdling technique, [w:] (red. P.V. Komi), *Biomechanics V-B*. Baltimor, Md.: University Park Press, 181–187.
- [271] Kawierin W.A., Szustin B. 1981. Modelnyje charaktristiki w bariernom biegie. *Legkaja Atletika*, 5, 9–10.

- [272] Kawierin W.A. 1985. Soriewnowatielnaja diejatielnost biegunow na 400 m s barierami, [w:] (red. W. W. Brejzer). *Problema wynosliwosti w sprinterskom i bariernom biegie*. Moskwa, 22–35.
- [273] Khosla T. 1978. Standards on age, height and weight of female Olympic finalists. *British Journal of Sports Medicine* (12), 2, 97–101.
- [274] Kłapcińska B., Iskra J., Poprzącki S., Grzesiok K. 2001. The effect of sprint (300 m) running on plasma lactate, uric acid, creatine kinase and lactate dehydrogenase in competitive hurdlers and untrained men. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* (41), 306–311.
- [275] Kodejs M. 1987. Optimální krokový rytmus 400 m překážek. *Atletika*, (39), 4: 13–15.
- [276] **Korobkow G.W, Homienkow L.S, Jonow D.P. 1953. Technika barierowo biega. Trenirowka w bariernom biegie, [w:] (red. L.S. Homienkow). *Legkaja Atletika*. Moskwa, Fizkultura i Sport, 81–86, 185–200.**
- [277] Kostial J., Matousek R. 1977. Etapy dlhodobej pripravy v behu na 400 prikazok muzov. *Atletika* 9, 14–15.
- [278] Košťal J., Matousek R. 1979. Dynamika vývoja štruktúry športového výkonu v behu na 400 m prekážok. *Teorie a Praxe telesne Vychovy*, (27), 4: 220–228.
- [279] Košťal J., Matoušek R., Záhorec J. 1978. Limitujúce faktory vykonnosti v behu na 400 m prekážok. *Teorie a Praxe telesne Vychovy*, 3: 170–176.
- [280] **Kotlarski P. 1995. *Porównanie wielkości obciążeń treningowych dokonane metodą tradycyjną i metodą komputerową opartą na programie Treob-4*. Praca magisterska, AWF Katowice.**
- [281] 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, Switzerland, 30–41.
- [282] Lacour J.R., Bouvat E, Barthelemy J.C. 1996. Post-competition blood lactate concentrations as indicators of energy expenditure during 400 m and 800 m races. *European Journal of Applied Physiology*, 61: 172–176.
- [283] Laczó E. 1976. Beh na 400 m. prekážok, [w:] *Atletika – behy*. Bratislava, Sport, 173–196.
- [284] Laczó E. 1986. Teória a didaktika pohybovej činnosti v behu na 400 m prekážok, [w:] (red. I.Varga i wsp..) *Behy*. Bratislava, Šport.
- [285] **Lawson G. 1997. *World Record Breakers in Track & Field Athletics*. Human Kinetics, Champaign, IL.**
- [286] **Le Masurier J. 1952. *Hurdling*. London, Amateur Athletic Association. Takže: (2nd ed./1959, 3rd ed./1966, 4nd ed./1972)**

- [287] Le Masurier J. 1977. Die olympischen 400-m-Hürdenlaufe von Mexico City, Munchen und Montreal. *Leichtathletik* 28, 305–307. Także (Olympic 400 metres hurdles (Men), Mexico, Munich and Montreal: a comparison of champions), [w:] *Track and Field quarterly Review* 1978, 4, 50–54.
- [288] Le Masurier J., Watts D. 1977. *Athletics, track events*. (1st ed), Pelham, London. Także: 2nd ed./1980)
- [289] Ledowska O.A. 2009. *Technologia formiowania rytmicznej struktury bariernowo biega u juniorych legkoatletow na etapie naczalnej sportiwnoj specjalizacji*. Autoreferat dysertacji kandydata pedagogicznych nauk. Czeliabińsk.
- [290] Letzelter H., Letzelter M. 1978. The influence of form and technique on the 400 m hurdles for men and for women. *Track and Field quarterly Review* 4, 50–54. Także: (Zum Einfluss von Kondition und Technik beim 400-m-Hürdenlauf der Männer und Frauen), *Leistungssport* 1, 12–19.
- [291] Letzelter M. 1973. Schrittgestaltung und Geschidigkeitsverhalten beim 400-m-Hürdenlauf der Olympischen Spiele 1972. *Leichtathletik* 37/38, 1421–1424; 1460.
- [292] Letzelter M. 1979. Schrittgestaltung im 400-m-lauf der Manner und Frauen bei den Olympischen Spielen 1976. *Leistungssport*, 3, 296–304.
- [293] Letzelter M., Steinmann W. 1990. Zur Tempogestaltung beim 400 m-Lauf der Männer und Frauen. *Lehre der Leichtathletik* 2/3.XX,
- [294] Letzelter, H., Letzelter, M., Honda, Y., Steinmann, W. 1995. Schrittgestaltung im 400-m-Hürdenlauf der Jugend. *Leichtathletik*, 10:41–47; 11: 49–51; 12: 52–58. Także: (Letzelter M., Honda Y., Steinmann): L'analisi frazionata della velocità nei 400m ad ostacoli giovanili. *S.d.S.* 1994, 31, 56–58.
- [295] Leveque N. 1988. Technical maintenance in the hurdles. *Amicle des Entraîneurs Francais d'Athletisme*, nr 3, s. 24–27.
- [296] Leyshon W. 2012. Performance analysis in the management of high performance sport international 400 m hurdles, [w:] (red: D.M.Peters, P.G.O'Donoghue) *9th World Congress of Performance Analysis of Sport, Book of Abstracts*, 3.
- [297] Lima-Silva A.E., Bertuzzi R.C., Pires F.O., Barros R.V., Gagliardi J.F., Hammond J., Kiss M.A., Bishop D.J. 2010. Effect of performance level on pacing strategy during a 100-km running race. *European Journal of Applied Physiology* (108) 5, 1045–1053.
- [298] Lindeman R. 1995. 400-meter hurdle theory. *Track Coach Spring*, 131, 4169–4196. Także: *US Track Coaches Review*, 33–35; przedruk z 1994 *USA Track & Field Hurdles Development (Men) Newsletter* (red. R. Lindeman, J. McNichols, J. Culbreath).
- [299] Lipińska P. 2015. *Strategia tempa w dyscyplinach sportowych o cyklicznym charakterze ruchów ze szczególnym uwzględnieniem pływania*. AWFIS Gdańsk.

- [300] Litujew J. 1962. Technik und Schrittteilung im 400-m-Hurdenlauf. *Leichtathletik*, 47.
- [301] Longden B. 1996. Training methodology and technique of 400 meter hurdles. *Technical Bulletin NACAC*, 1, 12–20.
- [302] Lopez del Amo J.L., Fresnada A.G., Cordente Martinez C.A. Montoya Vieco A., Gonzalez Miguel P. 2012. Analysis of the Choice of the Predominant Lead Leg in the 400 m Hurdles at the 13th World Athletics Championships Deagu 2011. *Apunts. Educacion Fisica y Deportes* (110), 4, 70–77.
- [303] Geller S., Harris L., Rajyam S. 2012. *The kinematic and kinetic differences between the first and final hurdle in a women's 400m hurdle race. South African Athletics Coach (www.athleticsnews.co.za) – 2010.10.25.*
- [304] Hirata K-I. 1966. Physicque and age of Tokio Olympic champions. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness* 6, 207–222.
- [305] Lovesey, P. 1980. *The official centenary history of the Amateur Athletic Association*. London: Guinness Superlatives Limited.
- [306] Łogwinow E., Julin A. 1974. 400 metrow s barierami. *Legkaja Atletika* 9, 26–28.
- [307] **Makarow A.N. (red.) Bariernyj bieg. 1977. Legkaja Atletika. Moskwa, Proswieszczenie.**
- [308] **Mann R. 1974. A mechanical analysis of the 440 yard/400 meter hurdles. Provo, Brigham Young University. Thesis (M.S.).**
- [309] Mann R. 1985. Biomechanical analysis of the elite sprinter and hurdler, [w:] (red. N.K. Buttsand, T.T. Gushken), *The elite athlete*. New York: SP Medical and Scientific Books, 43–80.
- [310] Mann R. 1991. TAC scientific support service program: Sprints and hurdles. In: *American Society of Biomechanics: proceeding for the 15th Annual Meeting*, Arizona State University, Tempe, Arizona, October 16–18, 1991, American Society of Biomechanics, 1991, 10–12.
- [311] **Mann R. 1993. The mechanics of sprinting and hurdling. Elite hurdler project – technical report. United States Track & Field Association, 1-135. Także: Mann R. 2010. The mechanics of sprinting and hurdling. Copyright Dr. Ralph V.Mann, Las Vegas, NV (yellow). Następane wydania: 2011 (green), 2013 (light blue). Także: Mann R., Murphy A. 2015. The Mechanics of Sprinting and Hurdling. Dr Ralph V. Mann, Las Vegas (blue). Następane wydanie – 2018 (white).**
- [312] Mann R. 1996. Rules – related limiting factors in hurdling. *Track Coach* 2, 4335–4337.
- [313] Mann R., Herman J., Johanson B., Schultz C., Kotmel J. 1983. The elite athlete project: sprints and hurdles. USOC Technical Reports 1–11, USOC Training Center, Colorado Springs, CO. Także: (R. Mann) *Track Technique* 1983, 84, 2672–2675, 2689.
- [314] Martin D.E., Buoneristiani J.F. 1995. Influence of reaction time on athletic performance. *New Studies in Athletics* (10) 1, 67–79.

- [315] Martin-Acero R., Rodriguez F.A., Codina—Trenzano A., Jimenez-Reyes P. 2017. Model for Individual Pacing Strategies in the 400 Metres. *New Studies in Athletics* 3-4, 27-44.
- [316] **Matoušek R. 1980. *Dynamika změn faktorů určujících sportovní výkon v běhu na 400 m přek.* Diplomová práce. Bratysłava, FTVŠ UK.**
- [317] Matousek R. 1987. Analiza rocneva treningovrho zatazenia bezcov na 400 m prekazok. *Atletika* 8, 13-15.
- [318] **Matoušek R. 1989. *Štruktúr športového skonu v behu na 400 m prekazek.* Kandidátska dizertačna práca. Bratislava, FTVŠ UK.**
- [319] Matousek R., Sedlacek J. 1985. Analýsa zmen rychlosti v behu na 400 m prekážek muzú. *Trener* (29), 4, 154-158
- [320] Matousek R., Sedlacek J. 1987. Vzťah športovniho výkonu na 400 m prekazek muzú a rychlosti behu v jednotlivých rytmických jednotkách. *Teoria a Praxe tělesně Výchovy*, 12, 732-742.
- [321] **Matthews P. 2011-2020. *Athletics 2011-20. The international track and field annual.* Cheltenham/London, The Sports Book/International Track and Field Statisticians.**
- [322] **McFarlane B. 1976. *The art and science of hurdling* (1st ed.). The Ontario Track and Field Association. Takže: McFarlane B. 1981. *Understanding the hurdle events* (2nd ed.) The Ontario Track and Field Association. McFarlane B. 1988. *The science of hurdling* (3rd ed.). Ottawa, Canadian Track and Field Association. McFarlane B. 2000. *The science of hurdling and speed. Hurdling into the 21st century.*(4th ed.). Ottawa, Athletics Canada. McFarlane B. 2004. *The science of hurdling and speed* (5th ed.). Ottawa, Athletics Canada, Minuteman Press.**
- [323] McFarlane B. 1977. Touchdown times for hurdles. *Track Technique* 67, 2128-2129. Takže [w:] Athletics Coach 1979, Dec, 31-32 oraz (Touchdown times) [w:] *Track and Field quarterly Review* 1978, 4, 33 oraz (Mezicasy doslapu v prekazkovych bezich) w: *Atletika* 1978, 4, 18-19 oraz (Touchdown charts) w: *Athletica* (Kan) 1978, 2, 18.
- [324] McFarlane B. 1980a. Rhythm - a quest for speed endurance. *Track and Field Journal* 5: 11.
- [325] McFarlane B. 1980b. Understanding the 400 metre hurdles. *Track and Field quarterly Review* 2, 56-58.
- [326] McFarlane B. 1984. Speed endurance...rhythm...sequencing. *Track and Field quatterly Review* 2, 31.
- [327] McFarlane B. 1991a. Hurdles Touchdown charts, [w:] *The hurdles: conterporory theory, technique and training*, (ed. 1), Track and Field News, Mountain View (Cal), 21-22.
- [328] McFarlane B. 1991b. The challange of change - a new hurdle perspective. *Track Technique* 114, 3632-3636. Takže [w:] *Ontario Physical and Health Education Association Journal* 1991, 3, 33-35.

- [329] McFarlane B. 1993a. An advanced „race model” for 400 m hurdles. *Track and Field quarterly Review* 1, 47–48.
- [330] McFarlane B. 1993b. An overview of training system. Physical preparation 5 S's with and without hurdles. *Track and Field quarterly Review* 1, 49.
- [331] McFarlane B. 1994. Hurdles: a basic and advanced technical model. *Track Technique* 129, 4073–4079. Takže w: Technical Bulletin IAAF-NACAC 1994, 3, 11–15 oraz [w:] *Track and Field Coaches Review* 1996, 1, 22–31.
- [332] **McGill S. 2020. *The Art of Hurdling. A Manual for Hurdle Coaches. eBookKindle.***
- [333] Miskos G., Susanka P. 1986. Hurdle races, [w:] (red. P. Susanka, G.-P. Brüggemann, E. Tsarouchas) 1st World Junior Championships. Athens'86. *IAAF Biomechanical Research*, D1-D13.
- [334] Mitchell L. 1968. Bend running in 400 hurdles. *Track Technique* September, 33, 1045–1046.
- [335] Moravec P., Susanka P. 1986. Metodické poznámky k průběhu některých závodu na ME Stuttgartu. *Atletika*, 12: 18–19.
- [336] Moravec P., Susanka P., Štěpánek J. 1990. Casová analýza, frekvence a daleka kroku na ME 1990. *Atletika*, 12: 13–20.
- [337] Moriorka, Y. 1997. Analysis of the race-patterns of men's 400 M hurdles – the races of the XXVIth Olympiad in Atlanta 1996, [w:] *XVIth International Society of Biomechanics Congress, University of Tokyo. Book of Abstracts*, 207.
- [338] Morita M., Igarashi K. 1992. The case study on the race of top hurdler in the world. The III Championships in Athletics Tokyo 1991. *Research Quarterly for Athletics* 11, 2–13.
- [339] Morton R.H. 1997. Statistical Effects of Line Allocation on Times in Running Races. *Journal of the Royal Statistical Society. Series D.* (46), 1, 101–104.
- [340] Müller, H., Hommel, H. 1997. Biomechanical research project at the VIth World Championships in Athletics Athens 1997: Preliminary Report. *New Studies in Athletics*, (12), 2–3: 43–55. Takže: (red. G.-P. Brüggemann, H. Müller) 1999. *Biomechanical Research Projects. Athens 1997. Final Report.* Meyer & Meyer Sport, 62–71.
- [341] **Nett T. 1961. *Die Technik beim Hürdenlauf und Sprung.* Verlag Bartels und Wernitz, Berlin.**
- [342] **Nett, E., Nett, T. 1969. *Weltbeste Leichtathletik in Lehrbildreihen Hürdenlauf.* Berlin-München-Frankfurt n.M.: Bartels and Wernitz.**
- [343] Noakes T.D., Lambert M.I., Hauman P. 2009. Which lap is the slowest? An analysis of 32 world mile record performances. *British Journal of Sports Medicine* 10, 760–764.
- [344] Novak M. 1973. Sledoval jsem trenink Akii-Bui. *Atletika* 9, 11.
- [345] Novak M. 1974. 400 m překážek - rozbor nedostatku. *Atletika* 5, 12–13.
- [346] Novák M. 1982. 400 m překážek krokový rytmu. *Atletika* 9, 13–14.

- [347] O'Donoghue P. 2010. *Research Methods for Sports Performance Analysis*. Routledge.
- [348] Orechia M. 1983. A physiological overview of 400 meter hurdle training. *Track and Field quarterly Review* 2, 53-55.
- [349] **Ostapienko A.N. 1959, [w:] (red. G. Morozow). *Legkaja atletika. Sport za rubieżom. Moskwa, Fizkultura i Sport, 22-34.***
- [350] 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, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204185>.
- [351] **Ozaki Y., Ueda T. 2019. Physical fitness, technique, and tactics associated with 400-m hurdles. Lambert Academic Publishing, Beau Bassin, Mauritius.**
- [352] Ozaki, Y., Ueda, T., Fukuda, T., Inai, T., Kido, E., & Narisako, D. (2019). Regulation of Stride Length During the Approach Run in the 400-m Hurdles, *Journal of Human Kinetics*, 69(1), 59–67. doi: <https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0019>
- [353] Ozolin N., Woronkin W. 1979. Bariernyj bieg, [w:] *Legkaja Atletika* (red. N. Ozolin i W. Woronkin), Fizkultura i Sport, Moskwa, 277–307.
- [354] Pacua M. 1996. Los 400 Metros Vallas. Situacion Actual, Tecnica y Entrenamiento. *Cuadernos de Atletismo* (Madrid), (38), 1, 13–25.
- [355] Paish W. 1976. Hurdling: 100 metres – 400 metre. W: *Track and Field Athletics*. Lepus Books, London, 91–98.
- [356] Parks B. 1985. The intermediate hurdles. *Track and Field quarterly Review* 2, 46–47.
- [357] Partipilo G., Ditroilo M. 1994. La distribuzione dello sforzo nei 400 ostacoli. *Nuova Atletica* (220), 124, 4–10.
- [358] Paruzel-Dyja M., Iskra J. 2011. Characteristics of an annual preparation program of Polish 400m hurdlers. *Atletika 2011*. Bratysława, 202–205.
- [359] Paruzel-Dyja M., Iskra J. 2012. Changes in training system of Olympic level 400m hurdlers in 20 years' period. W: *International Convention on Science, Education and Medicine in Sport (ICSEMIS) 12012*, Brunel University, Glasgow.
- [360] Poprzącki S., Kłapcińska B., Kimsa E., Szade B., Iskra J. 1998. Changes in 2, 3-diphosphoglycerate and ATP levels in erythrocytes in male sprinters following a 300 m maximal running. *Biology of Sport* (15), 2, 81–86.
- [361] Poprzącki S., Kłapcińska B., Sadowska-Krępa E. 1997. Activity of antioxidant enzymes in blood of hurdlers following maximal exercise. *Biology of Sport*, (14), 4: 283–290.
- [362] Poręba M., Skalik R., Poręba R. i wsp. 2008. Abnormal P wave morphology in the electrocardiogram of hurdle runner with a history of presyncope. A case report. *Medicina Sportiva* (12), 2, 46–48.
- [363] Predergast K. 1991. Some aspects of the 400 m hurdles. *Modern Athlete and Coach* 2.

- [364] Przdnowek K., Iskra J., Przednowek H.K. 2014. Predictive modeling in 400-metres hurdles races. W: *"icSports 2014", Proceedings of the 2nd International Congress on Sports Sciences Research and Technology Support*, Rzym, 129–136.
- [365] **Przednowek K. 2014. *Metody sztucznej inteligencji oraz regularyzowane modele liniowe w optymalizacji obciążeń treningowych w biegu na 400 m przez płotki*. Praca doktorska, AWF Katowice.**
- [366] Przednowek K., Iskra J., Cieszkowski S., Przednowek K. 2015. Planning Training Loads to Develop Technique and Rhythm In the 400 m Hurdles using RBF Network, [w:] (red. J. Cabri, P. Pezarat-Correira) *icSports 2015, Sport Sciences research and Technology Support*, Scitepress, Portugal, 245–249.
- [367] Przednowek K., Iskra J., Maszczyk A., Nawrocka M. 2017. Regression Srinkage and neural models in predicting the results of 400-metres hurdle races. *Biology of Sport* 34, 415–421.
- [368] Puzio W. 1964. Typy płotkarzy. *Lekka Atletyka* 9, 17–18.
- [369] Puzio W. 1974. Wybrane zagadnienia treningu 400 m ppł. *Lekkoatletyka* 3, I–III.
- [370] Puzio W. 1986. Bieg na 400 m przez płotki, [w:] *Lekkoatletyka* (red.: S. Socha, Z. Ważny), AWF Katowice, 225–232.
- [371] **Quercetani R.L. 1964. *A World History of Track and Field Athletics 1864–1964*. Oxford University Press.**
- [372] **Quercetani R.L. 1990. *Atletica. Storia dell'Atletica. Moderna delle origini ad oggi (1860–1990)*. Vallardi and Associati, Milano.**
- [373] **Quercetani R.L. 2009. *A world history of hurdle and steeplechase racing 1860–2008. Men and women*. Milan, Edit Vallardi.**
- [374] Quinn M.D. 2010. External effects in the 400-m hurdles race. *Journal of Applied Biomechanics* 2, 171–179.
- [375] Railsback D. 1988. Hurdling: high, intermadiate, low. *Track and Field quarterly Review* 1, 24–30.
- [376] Railsback D. 1990: Split and Interval Difference Times. *Track and Field quarterly Review* 1, 26.
- [377] Razumowskij J. 1975. Put na piediestał. *Legkaja Atletika* 5, 12–13.
- [378] Razumowskij J., Kajtmazowa J. 1977. Put' k uspiechu. *Legkaja Atletika* 8, 18–19.
- [379] Razumowskij J.A. 1987. Bieg s barierami, [w:] (red. L.S. Homienkow). *Kniga trenera po legkoj atletikie*, Moskwa, Fizkultura i Sport, 134–176.
- [380] Reis M., Miguel P. 2007. Changes in the accumulated oxygen deficit and energy cost of running 400 metres. *New Studies in Athletics* (22), 2, 49–56.
- [381] Reis V.M., Duarte J.A., Espírito-Santo J., Russell A.P. 2004. Determination of accumulated oxygen deficit during a 400m run. *Journal of Exercise Physiology (online)* (7), 2, 83.

- [382] REN Zhao-jun. 2005. A study on the speed distribution in men's 400m hurdles running in 2000 Olympic Games. *Journal of Hubei Sports Science*, 4, 508-509, 512.
- [383] Renfree A., Mytton G.J., Skorski S., Gibson A.S. 2014. Tactical consideration in the middle distance running events at the 2012 Olympic Games: a case study. *International Journal of Sports Physiological Performance* 9 (2): 362-364.
- [384] Righi T. 1986. I 400 metri con ostacoli: Analisie proposte di allenamento. *Atleticastudi* 17, 27-40.
- [385] Righi, T. 1986. Le curve di velocita nelle corse con ostacoli. *Atleticastudi*, 6: 463-476.
- [386] Ross W. L. 1984. A 400 m formula for the 110 m high hurdles run. *Track and Field quarterly Review* 2, 42.
- [387] **Ross W.L. 1966. *The hurdler's bible. Hurdling best manual*. San Juan (PR), Cooperativa de artes graficos « Romualdo Real ».** Także: **Ross W.L. 1978. *The hurdler's bible*. Santana, San Juan PR.** Także: **Ross W.L. 1969. *The hurdler's Bible*. (2nd ed.) Darlington, Wirginia. Yates Painting Company.** Także: **Ross W.L., Ross N.F.H. 1997. *The hurdler's Bible 2*. (3rd ed.).**
- [388] Rovniy A., Pasco V., Stepanenko D., Grebeniuk O. 2017. Hypoxic capacity as the basis for sport efficiency achievements in the men's 400-meter hurdling. *Journal of Physical Education and Sport* 17, 300-305.
- [389] Sabih Kream W. 2016. The relationship between the time of the first and second (200 m) and the completion of 400 meter hurdles running among young runners. *Sciences Journal of Physical Education* (9), 1, 55-63.
- [390] Sadowska-Krępa E., Iskra J., Skowronek T., Tataruch R., Hadzik A., Kempa K, Kimsa E. 2011. The effect of maximal running exercise on the blond antioxidant defense system in hurdlers. *Journal of Physiology and Pharmacology*, Vol. 62, suppl. 1, 80.
- [391] **Sadowski W. 1967. *Bariernyj bieg. Fizkultura i Sport*. Moskwa.**
- [392] **Salazar O.C.S., Hernandez A.J., Perez T.A. 2016. *Plan de ejercicios para el ritmo de carrera de 400 metros con vallas*. Editorial Academica Espanola, Madrid.**
- [393] Sanchez J.I Ruiz, Arencibia C.L de la Paz, Ferrer A.M. Morales 2011a. Diagnostico de potencialidades para entrenar el ritmo de carrera en la especialidad 400 metros con villas. *EFDeportes.com, Revista Digital, Buenos Aires* 16, 161, Octubre 1 de 2013, <http://www.efdeportes.com>
- [394] Sanchez J.I. Ruis, Arencibia L. de la Paz, Ferrer A.M. Morales. 2011b. El ritmo de carrera en la prueba de 400 metros con vallas. *Consideraciones teorico-metodologicas de su entrenamiento*. *Revista Digital, Buenos Aires* 16, 161, Octubre de 2013, <http://www.efdeportes.com>

- [395] Saraslanidis P.J., Panoutsakopoulos V., Tsalis G.A., Kyprianou E. 2011. The effect of different first 200-m pacing strategies on blood lactate and parameters of the 400-m sprint. *European Journal of Applied Physiology* 111 (8), 1579–1590.
- [396] Schiffer J. 1990. Selected bibliography 20 – hurdles. *New Studies in Athletics* 4, 75–86.
- [397] Schiffer J. 1993. Selected bibliography 28: the hurdles. *New Studies in Athletics* 2, 75–94.
- [398] Schiffer J. 2012. Selected and annotated bibliography. No. 94. The 400m Hurdles. *New Studies in Athletics* 1–2, 145–174.
- [399] **Schlicht W. 1988. *Einzelfallanalysen im Hochleistungssport: Zum Verlauf und zur Wirkung selbstbezogener Aufmerksamkeit im 400-Meter-Hürdenlauf*. Schorndorf, Hofmann.**
- [400] **Schlosser T. 1991. Zum Wettkampfverhalten von 400-m-Hürdenläufern der Weltklasse. Praca dyplomowa. Uniwersytet Mainz.**
- [401] **Schmolinsky G. 1978. Track and Field. Sportverlag, Berlin.**
- [402] **Schröter H. 1979. Hürdenlauf, [w:] (red. K. Bauersfeld K., H. Schröter) *Grundlegen der Leichtathletik*. Sportverlag, Berlin, 156–173.**
- [403] Schubert B. 1993. The Olympic Games in Barcelona: a general analysis of 400 metres hurdles man. *New Studies of Athletics* (8), 2, 20–26.
- [404] Schwartz A., Baumann W., Gross V., Vonstein W. 1990. Fatigue effects in the 400 m hurdles technique, [w:] (red. G.P. Brüggemann, J.K. Rühl) *Techniques in Athletics. The First International Conference*. Conference Proceedings. Deutsche Sporthochschule, Kolonia, Vol. 2, pp. 440–446. Także: Schwirtz A. 1990. Wpływ zmęczenia na technikę biegu na 400 m ppł. *Sport Wyczynowy* nr 3-4, 60-63 (tłumaczenie doniesienia na Międzynarodowym Kongresie „Technika w lekkoatletyce”, Kolonia 1990).
- [405] *Sedeaud A., Marc A., Marck A., Dor F., Schipman J., Dorsey M., Haida A., Berthelot G. Toussaint J-F. 2014. BMI, a Performance Parameter for Speed Improvement. <https://journals.plos.org/journal.pone.0090183>.*
- [406] Sedlacek J. 1986. Zmiany rychlosti a rytmu behu na 400 m prekazek muzu. *Tréner* (30), 10, 446–451.
- [407] Sedlacek J., Matousek R. 1985. Analýze zmien rychlosti na 400 m prekážek. *Atletika* 10, 16–18.
- [408] **Shearman M. 1887. Athletics and Football. London: Longmans, Green and Co.**
- [409] SI Peng-qiao, WU Li-zhu. 1990. The relationship between energie of distribution and the achievment in 400 meter hurdle race. *Journal of Hebei Institute of Physical Education*, 2.
- [410] **Silvey S. 2012. *Secrets To Becoming A Successful Hurdler. Create Space*.**
- [411] **Silvey S. 2013. *Championship Training For The 300 Meter & 400 Meter Hurdles. Create Space*.**
- [412] **Silvey S. 2020. *Becoming An Elite Hurdler. Create Space*.**

- [413] Singh 1980. Igy torunk gyozelmekre es csucsokra (befejezes) *Atletika* (Węgry), 7, 1–14.
- [414] Spencer M.R., Gustin P.B. 2001. Energy system contribution during 200 to 1500m running in highly trained athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. (33) 1, 157–162.
- [415] Spiriev B. 2005. *IAAF Scoring Tables of Athletics*. IAAF, Monaco
- [416] Sportsman Ch. 1966. The 440 yard intermediate hurdles. *Track and Field quarterly Review* 3, 66–67.
- [417] **St Paul D. 2013b. The Performance Analysis of Race Distribution for Elite Male 400m Hurdles. Cardiff Metropolitan University, Cardiff Schol of Sport. Dissertation submitted under the discipline of "Performance Analysis"**
- [418] *St Paul D. 2013a. Race distribution of elite male 400 m hurdlers.(part I–III), [w:] www.visualperformanceanalysis/sports-blogs (2013.11.04).*
- [419] Starosta W., Kędziora R. 1995. Sposób atakowania płotków przez czołowych płotkarzy (-rki) świata w świetle asymetrii czynnościowej, [w:] (red. J. Migasiewicz, P. Kowalski: *Problemy badawcze w lekkoatletyce* AWF Wrocław, 65–73.
- [420] Steinmann W. 1991. Tempogestaltung hochqualifizierter 400-m-Hürdehläuferinnen, [w:] (red. M. Letzelter, W. Steinmann) *Trainingswissenschaftliche Studien zur Leichtathletik*. Niederhausen, *Mainzer Studien zur Sportwissenschaft*, 14, 104–127.
- [421] Štěpánek J., Moravec P., Susanka P. 1990. Časová analýza, frekvence a dalka kroků na ME 1990. *Atletika* 12, 13–20.
- [422] Stiepanow W., Stukałow D. 1980. Pociemu podajet skorost. *Legkaja Atletika* 9, 22–24.
- [423] Stride patterns and effort distribution in 400 m. hurdles. *Marathon* 1977, (15), 6, 5–7.
- [424] Susanka P. 1990. Presentation of biomechanical knowledge of hurdle running. In: (red. G.-P. Brüggemann, J.K. Rühl), *Techniques in athletics – The First International Conference – Cologne 7–9 June 1990*. Conference proceedings. Volume 1: Main conference, keynote symposia. Kolonia, 49–62.
- [425] Susanka P. Ziegler J. 1973. Optimalni tempo běhu na 400 m překážek. *Atletika* 3, 14–15.
- [426] Susanka P., Miskos, G., Millerova, V., Dostal, E., Barac, F. 1988. Time analysis of the sprint hurdle events at the II World Championships in Athletics The 1987 International Athletic Foundation – IAAF Scientific Report. *New Studies in Athletics* (2), 3, 51–72. Time analysis of the 400m hurdles *W: Scientific Report on the II World Championships in Athletics – Rome 1987*. IAAF, London., 27–31.
- [427] Susanka, P. 1987. Hints on computer processing of biomechanical data, [w:] (red.L. Tsarouchas). *Biomechanics in Sports V. Proceedings of the 5th International Symposium of Biomechanics in Sports*, (red. L. Tsarouchas i wsp.), Athens: Hellenic Sports Research Institute, 569–596.

- [428] Tanner J.M. 1964. *The physique of the dynamic athlete*. Allen and Unwin
- [429] Thiel C., Foster C. Banzer W., De Koning J. 2012. Pacing in Olympic track races: competitive tactics versus best performance strategy. *Journal of Sports Sciences*. (30) 11: 1107–1115.
- [430] Tisdall R.M., Sherie F. 1934. **The art of hurdling, [w:] *The young athlete***. London, Blackie.
- [431] Torim H. 1989. *Tõkkejooks*. Tallinn, Tallina Pedagoogiline Instituut.
- [432] Torres L.M., Sanchez J.I. Ruiz, Acosta O.P. 2013. Concepcion teorico-metodologica para el entrenamiento fisico-tecnico en la disciplina de 400 metros con vallas. *Revista Digital*, Buenos Aires 18, 179, Abril de 2013, <http://www.efdeportes.com>
- [433] **Tošnar M., Tasto O. 1963. *Prekážkové behy*. Praha, STN.**
- [434] Tucker R., Lambert M.I., Noakes T.D. 2006. An analysis of pacing strategies during men's world-record performances in track athletics. *International Journal of Sports Physiology and Performances* 3, 233–245.
- [435] Urtebise F. 2001. L'Entrainement au Developpement de la Force du Coureur dr 400-m Haies. *European Athletic Coaches Association Congress. Revue de L'AEFA*. Novembre 54-57.
- [436] **Valamatos M.J. de Oliveira 2009. *400-metros barreiras: analise cinematica da transposição. estudo das alterações na estrutura cinemática da transposição da barreira induzidas pela utilização da perna não dominante e pela instalação da fadiga***. Universidade Tecnica de Lisbona (dissertação, mastersthesis), DiTeD – Digital Theis and Dissertations.
- [437] **Valamatos M.J. de Oliveira. 2003. *Estudo da impulsão dinâmica na transposição da barreira***. Lisboa (POR). Universidade Técnica de Lissboa. Faculdade de Motricidade Humana. **Dissertação. (3º Mestrado em Treino de Alto Rendimento)**.
- [438] Valamatos M.J., Valamatos M.J., Mil-Homens P., Veloso A. 2005. *Impulsão dinâmica da transposição da barreira. Alterações na capacidade de produção mecânica do complexo músculo-tendinoso provocadas pela instalação da fadiga*. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto* (5), 1,15–30, www.scielo.oces.mctes.pt (2011.01.23).
- [439] Vanes B. 1980. 400 metres hurdles concepts. *Modern Athlete and Coach*, October, 39–41.
- [440] Vittori C. 1998. La distribuzione dello sforzo nei 400 ostacoli maschili e sua influenza sulla ritmica complessiva. *Atleticastudi* 1-3, 39–43.
- [441] Vonstein W. 1995. Zur technischen Entwicklung des 400-m-**Hürdenlaufes** im Nachwuchs. *Leichtathletik* 12, 60–62.
- [442] Walaszczyk A., Tataruch R., Iskra J., Hyjek J. 2012. Laterality of lower limbs in the aspect of hurdle races in various distances, intensity and rules, [w:] *International Convention on Science, Education and Medicine in Sport (ICSEMIS) 12012*, Brunel University, Glasgow.

- [443] **Wallechinsky D., Loucky J. 2012. *The complete book of the Olympics*. Aurum Press Ltd., London.**
- [444] WANG Xin-yong, ZHANG Man-yun. 2003. Analysis on the rhythm of stride in male 400m hurdles. *Journal of Anhui Sports Science*, 4, 36–37.
- [445] Warburton D. 1985. The 400 m hurdles - the development of effective technique. *Athletics Coach*, 9, 21–25. Także: [w:] *The hurdles: contemporary theory, technique and training* (red. J. Jarver), Mountain View, Cal., Track and Field News 1991, 86–90.
- [446] **Warden P. 1986. *Sprinting and hurdling*. Marlborough, (Peter) Crowood.**
- [447] Ward-Smith A.J. 1997. A mathematical analysis of the bioenergetics of hurdling. *Journal of Sports Sciences*, 15: 517–526.
- [448] **Webster F.A.M. 1922. *Hurdling and steeplechasing*. London, Athletic Publications.**
- [449] **Webster F.A.M. 1929. *Athletic up to date*. London: Frederick Warner and Co.**
- [450] **Webster F.A.M. 1931. *Athletes in action*. London, Shaw.**
- [451] **Wilt F. 1973. *How they train. Vol. III. Sprinting and hurdling*. Los Altos, CAL.**
- [452] **Wilt F. 1984. *Soviet theory, technique and training for running and hurdling*. Ames (Iowa), Championship Books.**
- [453] Winckler G. 1983. 400-m-Hurdenlauf der Frauen und Männer. *Leichtathletik*, 49, 1668–1670.
- [454] Winckler G. 1989. Hurdling, [w:] *The Athletics Congress's track and field coaching manual*. (2nd ed.), Leisure Press, Champpaign, 73–87.
- [455] Winckler G. 2008. *Developing proper kinesthetic force application in 400-m hurdling through a performance approach*. www.ukhurdlesclub.net (2008.10.07).
- [456] Winckler G. 1984. *1983 IAAF World Championship – 400 m hurdles technical summary*. Floryda State University.
- [457] Wróblewski J. 1990. 400 m s/b. Siłowaja podgotowka. *Legkaja Atletika* 4, 12. Także: (Strength development in the 400 m hurdles event), [w:] *Modern Athlete and Coach*, 1990, 4, 37–38 oraz [w:] *The hurdles: contemporary theory, technique and training* (red. J. Jarver), Mountain View, Cal, Track and Field News, 1991, 100–101.
- [458] XIE Xu-dong. 2007. A study on the speed distribution of the male's 400m hurdles running competition. *Sport Science and Technology*, 2, 28–30.
- [459] Yasui T., Aoyama K., Ogiso K., Asaba K., Ogura Y. 1996. The study of the model interval time in 400m hurdle race for men, [w:] (red. J.M. Abrantes) *14th International Symposium on Biomechanics in Sports*, 431–434.

- [460] Zauhal H., Jabbour G., Jacob C., Duvigneau D., Botcazou M., Abderrahman A., Prioux J., Moussa E. 2010. Anaerobic and Aerobic Energy System Contribution to 400-m Flat and 400-m Hurdles Track Running. *Journal of Strength and Conditioning Research* 9, 2309–2315.
- [461] ZHANG Bao-ping. 2002. Effect of 400-metres dash on improving results of 400-metre racing. *Journal of Sports Adult Education*, 3, 87–88.
- [462] **Ziegler I. 1972. *Kinematická analýza běhu na 400 m překážek. (Diplomová práce). Praha, FTVS UK.***
- [463] Żukow J., Denisenko A. 1982. Raspriedelenie skorostnych usidlij. Technika, ritm, skorost. *Legkaja Atletika* 9, 14-15.

Dodatkowe informacje bibliograficzne

Publikacje w www.hurdlefirst.com

Strona www.hurdlesfirst.com prowadzona jest przez wyjątkową postać w amerykańskim systemie szkolenia najlepszych lekkoatletów. Steve McGill pochodzi z Północnej Karoliny i od zawsze pasjonuje się szkoleniem płotkarzy. Jego blog „Hurdles First” z podtytułem „Where It’s all about the Hurdles” zawiera wiele cennych artykułów z obszaru biegu na 400 m przez płotki. McGill jest autorem książek o tematyce płotkarskiej, z różnym „wkładem” części szkoleniowej. W 2020 r. wydał „The Art. of Hurdling”, a w 2018 r. „A Hurdler’s Dream” – biografię Rodney’ a Milburna. Jego książka „A Hurdler’s Dream” przedstawia autora jako miłośnika filozofii, muzyki i historii.

Od ponad 15 lat publikuje (głównie w formie elektronicznej) magazyn „The Hurdle Magazine” z licznymi artykułami związanymi ze strategią biegu na 400 m przez płotki.

2007 – „The 400 Hurdles: A Quarter-Miler’s Dream”

“Technique in the Intermediate Hurdles”

2008 – “Men’s 400 m Hurdles: What’s Going On”

2009 – “ A Look Back at 2009: Men’s 400 Meter Intermediate Hurdles”

Netografia – strony internetowe

www.4httarare.supersite.fr,
www.athle.com/bulletinsinfos/com,
www.hurdlecentral.com,
www.hurdlesfirst.com,
www.swiss-hurdling.ch,
www.ukhurdlesclub.net
www.efdeportes.com

Streszczenie

Lata 2021–2022 to okres wyjątkowego rozwoju wyników w biegu na 400 m przez płotki, zarówno w grupie mężczyzn (rekord świata Karstena Warholma – 45,94 s na Igrzyskach Olimpijskich w Tokio w 2021 r.), jak i kobiet (rekord świata Sydney McLaughlin – 50,68 s na Mistrzostwach Świata w Eugene w 2022 r.).

W monografii dotyczącej dystansu 400 m przez płotki mężczyzn przedstawiono wszechstronny zakres wiadomości pozwalających odpowiedzieć na pytanie: **co decyduje o sukcesie w biegu na 400 m przez płotki na najwyższym poziomie zaawansowania?**

Praca powstała przy pomocy przyjaciół z Polski i zza granicy.

Układ pracy łączy aspiracje badawcze (analiza empiryczna) oraz wiedzę aplikacyjną, możliwą do wykorzystania w konkretnych rozwiązaniach treningowych.

Praca zawiera cztery podstawowe części uzupełnione obszernym piśmiennictwem.

Część wstępna definiuje strategię biegu na dystansie 400 m przez płotki, obejmującą, poza standardowymi parametrami czasowymi, zmienne charakteryzujące tzw. „rytm płotkarski”, czyli liczbę kroków i ich zmiany w kolejnych odległościach między płotkami.

Strategia biegu na 400 m przez płotki obejmuje ponadto budowę ciała płotkarzy, poziom przygotowania motorycznego i technicznego, możliwości pokonywania płotków lewą i prawą nogą, a także bieg po wybranym torze. Wstępną analizę uzupełnia obszerne zestawienie historycznych zmian strategii biegu najlepszych zawodników świata.

Część metodologiczną charakteryzuje materiał badań, określa metody oraz przedstawia zestaw zmiennych wybranych do opisu strategii biegu.

W analizie uwzględniono 297 indywidualnych biegów na dystansie 400 m przez płotki mężczyzn rozgrywanych biegach na imprezach rangi mistrzowskiej w latach 1968–2021. W sumie w analizie uwzględniono 141 biegaczy – (PB = *personal best result*): 46,78–50,68 s, wiek: $25,96 \pm 3,69$ lat, wysokość ciała $185,42 \pm 5,92$ m, masa ciała $76,47 \pm 5,74$ kg).

W analizie uwzględniono najlepszych płotkarzy w historii tej konkurencji. W grupie 100 najlepszych płotkarzy 18 płotkarzy zajmowało miejsca w pierwszej 20, 40 z listy 50 najlepszych płotkarzy w historii, a 70 pochodziło z listy 100 najlepszych.

W okresie 53 lat analizie podlegały biegi finałowe rozgrywane na najważniejszych imprezach lekkoatletycznych – igrzyskach olimpijskich (13), mistrzostwach świata (14) i mistrzostwach Europy (12).

Poszukując istotnych danych wykorzystano podstawowe parametry statystyczne, analizę korelacji Pearsona, analizę wariancji (ANOVA), analizę regresji oraz analizę czynnikową (PCA).

Ważną częścią metodologii badań jest podział dystansu oparty na przesłankach matematycznych (4 części po 100 m), regulaminowych (dobieg, 9 x 45 m,

wybieg), strukturalnych (2 wiraże i 2 proste), fizjologicznych (wysiłki niekwaso- i kwasomlekowe), technicznych (pokonywanie płotków lewą i prawą kończyną atakującą) oraz treningowych (specyficzne treningi dostosowane do kolejnych części dystansu).

Wzoruując się na piśmiennictwie a także proponując autorskie przemyslenia (trenerskie i naukowe), w pracy wykorzystano wiele grup parametrów – w sumie ponad 200 zmiennych. Jako zmienną zależną przyjęto czas biegu na 400 m przez płotki (T400H), a także (częściowo) czas biegu wyłącznie między płotkami (TH1-10). Zmienne niezależne podzielono na części: zmienne identyfikacyjne/podstawowe (m.in. budowa ciała i poziom przygotowania sprawnościowego i technicznego), zmienne czasowe (czas przygotowania jednostek płotkarskich, zmienne dodawane, różnice i proporcje (*split times*), zmienne przestrzenne (liczba kroków), zmienne czasowo-przestrzenne (częstotliwość kroków), zmienne rytmowe (*stride pattern*), zmienne lateralizacji (udział lewej i prawej nogi atakującej) oraz zmienne strategiczne (miejsca w czasie pokonywania kolejnych płotków).

Podstawowa część pracy to „**Analizy podstawowe**” obejmujące szczegółową analizę danych dotyczących wszystkich zmiennych. Struktura kilkunastu podrozdziałów oparta jest na schemacie: pytania badawcze, wprowadzenie, analiza statystyczna, wnioski, wnioski aplikacyjne i piśmiennictwo. W części dotyczącej literatury tematu wskazano na pozycje uwzględniające dotychczasową wiedzę z obszaru danej części tekstu.

Ostatnia część pracy to „**Analizy tematyczne**” – zbiór ośmiu artykułów publikowanych w języku angielskim w renomowanych czasopismach (m.in. *Journal of Human Kinetics, Acta Kinesiologica*) bądź oczekujących na druk.

Końcowe „**Piśmiennictwo**” to unikatowy (blisko 500 pozycji) zestaw prac poświęconych zagadnieniom biegu na 400 m przez płotki, z akcentem na biegi mężczyzn na wysokim poziomie zaawansowania.

Summary

The years 2021 and 2022 were period of an exceptional development of results in 400m hurdles, both in the group of men (Karsten Warholm's world record – 45.94 s at the Olympic Games in Tokyo in 2021) and women (Sydney McLaughlin's world record – 50.68 s at the World Championships in Eugene in 2022).

The monograph concerning the distance of men's 400 m hurdles contains a versatile scope of data that make it possible to answer the question – “**What factors determine the success in the 400 m hurdles at the highest level of advancement?**”.

The study is a result of cooperation of colleagues from Poland and abroad.

The structure of the study combines research aspirations (empirical analysis) and application knowledge that can be used in specific training solutions.

The study contains four basic parts supplemented with an extensive literature.

The **introductory part** defines the strategy of hurdle run over the distance of 400 m, including, apart from standard time parameters, variables featuring the so-called "hurdle rhythm", i.e. the number of strides and their changes at subsequent distances between the hurdles.

The 400 m hurdle run strategy includes also the structure of hurdlers' body composition, the level of motor and technical preparation, the ability of clearing the hurdles with the left and right leg as well as running on the selected track. The initial analysis is complemented by a comprehensive compilation of historical changes in the racing strategy of the world's best athletes.

The **methodological part** features the research material, determines methods and presents a set of variables selected for the description of running strategy.

The analysis includes 297 individual men's hurdle runs over the distance of 400 m held at championship events in the period from 1968 to 2021.

In total, the analysis included 141 runners - (PB = Personal Best Result): 46.78-50.68 s, age: 25.96 ± 3.69 years, body height 185.42 ± 5.92 m, body weight $76, 47 \pm 5.74$ kg).

The analysis included the best hurdlers in the history of this sport. In the group of 100 best hurdlers, 18 hurdlers took places in the top 20, 40 from the list of 50 best hurdles in the history, and 70 came from the list of the top 100.

The subject of analysis were the final runs held in the period of 53 years at the most important athletics events - the Olympic Games (13), World Championships (14), and European Championships (12).

When looking for significant data, basic statistical parameters, Pearson correlation analysis, variance analysis (ANOVA), regression analysis, and factor analysis (PCA) were used.

An important part of the research methodology is the division of distance based on mathematical (4 parts, 100 m each), regulatory (approach, 9 x 45 m, running after clearing the last hurdle), structural (2 bends and 2 straights), physiological (non-milk acid and milk acid efforts), technical (clearing the hurdles with the left and right lead leg) and training factors (specific trainings adapted to the consecutive parts of the distance).

Based on the literature and also suggesting original authors' (coaching and scientific) solutions, many groups of parameters - a total of over 200 variables were used in the study. As a dependent variable, the time of 400 m hurdle run (T400H), as well as (partially) running time exclusively between the hurdles (TH1-10) were adopted. Independent variables were divided into following parts: identification/basic variables (among others body composition and level of fitness and technical preparation), time variables (times of basic hurdles units), added variables, differences and proportions ("*split times*"), spatial variables (number of strides), temporal and spatial variables (frequency of strides), rhythm variables ("*stride pattern*"), lateralization variables (involvement of the left and right lead leg), and strategic variables (places while clearing subsequent hurdles).

The basic part of the study involves "**Basic analyzes**" including the detailed analysis of data concerning all variables. The structure of a dozen or so subsections is based on the following pattern: research questions, introduction, statistical analysis, conclusions, application conclusions, and literature. In the part concerning the literature on the subject, studies including the current knowledge from the field of the given part of the text were indicated.

The last part of the study includes "**Theme analyzes**" – a collection of eight studies published in English in renowned journals (among others *Journal of Human Kinetics*, *Acta Kinesiologica*), or studies that are waiting for publication.

The final "**Literature**" is a unique (nearly 500 items) set of studies devoted to issues relating the 400 m hurdles, with an accent on men's hurdle runs at a high level of advancement.

Aneks

Tabela A.

Parametry czasowe podstawowe i dodawane – podział na 11 części biegu (wyłącznie jednostki płotkarskie)

Parametr	Parametr	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-F
1JP	t0-1	x										
	t1-2		x									
	t2-3			x								
	t3-4				x							
	t4-5					x						
	t5-6						x					
	t6-7							x				
	t7-8								x			
	t8-9									x		
	t9-10										x	
t10-F											x	
2JP	T0-2	x	x									
	T1-3		x	x								
	T3-5				x	x						
	T5-7						x	x				
	T7-9								x	x		
	T2-4			x	x							
	T4-6					x	x					
	T6-8							x	x			
	T8-10									x	x	
	T9-F										x	x
3JP	T0-3	x	x	x								
	T1-4		x	x	x							
	T4-7					x	x	x				
	T7-10								x	x		
	T2-5			x	x	x						
	T5-8						x	x	x			
	T3-6				x	x	x					
	T6-9							x	x	x		
	T8-F									x	x	x
	4JP	T0-4	x	x	x	x						
T1-5			x	x	x	x						
T5-9								x	x	x	x	
T2-6				x	x	x	x					
T6-10								x	x	x	x	
T3-7					x	x	x	x				
T4-8						x	x	x	x			
T7-F									x	x	x	x
5JP	T0-5	x	x	x	x	x						
	T1-6		x	x	x	x	x					
	T2-7			x	x	x	x	x				
	T3-8				x	x	x	x				
	T4-9					x	x	x	x	x		
	T5-10						x	x	x	x	x	
	T6-F							x	x	x	x	x
6JP	T0-6	x	x	x	x	x	x					
	T1-7		x	x	x	x	x	x				
	T2-8			x	x	x	x	x	x			
	T3-9				x	x	x	x	x	x		
	T4-10					x	x	x	x	x	x	
	T5-F						x	x	x	x	x	x
	T1100H											
T1100H												
T1100H												
T1V100H												
„Połówki”	T1-200H	x	x	x	x	x	x					
	T11-200H						x	x	x	x	x	x
t best		(x)	(x)	(x)								
t worst									(x)	(x)	(x)	

W sumie 59 zmiennych czasowych (podstawowe i dodawane)

Tabela B

Międzyczasy ('split times') w biegu na 400 m przez płotki

Parametr	Parametr	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-F
1JP	t0-1	x										
	t1-2		x									
	t2-3			x								
	t3-4				x							
	t4-5					x						
	t5-6						x					
	t6-7							x				
	t7-8								x			
	t8-9									x		
	t9-10										x	
t10-F											x	
2JP	T0-2	x	x									
	T1-3		x	x								
	T3-5				x	x						
	T5-7						x	x				
	T7-9								x	x		
	T2-4			x	x							
	T4-6					x	x					
	T6-8							x	x			
	T8-10									x	x	
	T9-F										x	x
3JP	T0-3	x	x	x								
	T1-4		x	x	x							
	T4-7					x	x	x				
	T7-10								x	x		
	T2-5			x	x	x						
	T5-8						x	x	x			
	T3-6				x	x	x					
	T6-9							x	x	x		
	T8-F									x	x	x
	4JP	T0-4	x	x	x	x						
T1-5			x	x	x	x						
T5-9								x	x	x	x	
T2-6				x	x	x	x					
T6-10								x	x	x	x	
T3-7					x	x	x	x				
T4-8						x	x	x	x			
T7-F									x	x	x	x
5JP	T0-5	x	x	x	x	x						
	T1-6		x	x	x	x	x					
	T2-7			x	x	x	x	x				
	T3-8				x	x	x	x	x			
	T4-9					x	x	x	x	x		
	T5-10						x	x	x	x	x	
	T6-F								x	x	x	x
6JP	T0-6	x	x	x	x	x	x					
	T1-7		x	x	x	x	x	x				
	T2-8			x	x	x	x	x	x			
	T3-9				x	x	x	x	x	x		
	T4-10					x	x	x	x	x	x	
	T5-F						x	x	x	x	x	x
„Ćwiartki”	T _I 100H											
	T _{II} 100H											
	T _{III} 100H											
	T _{IV} 100H											
„Połówki”	T _I 200H	x	x	x	x	x	x					
	T _{II} 200H						x	x	x	x	x	x
	t best		(x)	(x)	(x)							
t worst								(x)	(x)	(x)		

Tabela C

Różnice, współczynniki i wskaźniki czasowe w strategii biegu na 400 m przez płotki

Parametr	Część biegu										
	S-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-F
	-45m	+80m	-115m	+150m	-185m	+220m	-255m	+290m	-325m	+360m	-400m
1. Różnice bezwzględne (częściowe)											
t2-3-t1-2		■	■								
t3-4-t2-3			■	■							
t4-5-t3-4				■	■						
t5-6-t4-5					■	■					
t6-7-t5-6						■	■				
t7-8-t6-7							■	■			
t8-9-t7-8								■	■		
t9-10-t8-9									■	■	
2. Różnice bezwzględne (większe części dystansu)											
t1200H-t200H	x	■	■	■	■	■	■	■	■	■	x
T4-7-t1-4		■	■	■	■	■					
T7-10-t4-7				■	■	■	■	■	■	■	
T7-10-t1-4		■	■	■	■	■	■	■	■	■	
T3-5-t1-3		■	■	■	■						
T6-8-t1-3		■	■			■	■				
T8-10-t1-3		■	■					■	■		
T6-8-t3-5				■	■		■				
T8-10-t3-5				■	■			■	■		
T8-10-t6-8								■	■		
3. Różnice procentowe (częściowe)											
t2-t1/t1*100		■	■								
t3-t2/t2*100			■	■							
t4-t3/t3*100				■	■						
t5-t4/t4*100					■	■					
t6-t5/t5*100						■	■				
t7-t6/t6*100							■	■			
t8-t7/t7*100								■	■		
t9-t8/t8*100									■	■	
(t6-t1-t1-5)/t1-5*100		■	■	■	■	■	■	■	■	■	
(t4-7-t1-4)/t1-4*100		■	■	■	■	■					
(t7-10-t4-7)/t4-7*100				■	■	■	■	■	■	■	
(t7-10-t1-4)/t1-4*100		■	■	■	■	■	■	■	■	■	
(t3-5-t1-3)/t1-3*100		■	■	■	■						
(t6-8-t1-3)/t1-3*100		■	■			■	■				
(t8-10-t1-3)/t1-3*100		■	■					■	■		
(t6-8-t3-5)/t3-5*100				■	■		■				
(t8-10-t3-5)/t3-5*100				■	■			■	■		
(t8-10-t6-8)/t6-8*100								■	■		
t4-7-t1-4*100		■	■	■	■	■					
t7-10-t1-4*100		■	■	■	■	■	■	■	■	■	
t7-10-t4-7*100				■	■	■	■	■	■	■	
t9-10-t1-2*100		■	■								
t3-2-t2-1/t2-1*100		■	■								
t4-3-t3-2/t3-2*100			■	■							
t4-5-t3-4/t3-4*100				■	■						
t5-6-t4-5/t4-5*100					■	■					
t6-7-t5-6/t5-6*100						■	■				
t7-8-t6-7/t6-7*100							■	■			
t8-9-t7-8/t7-8*100								■	■		
t9-10-t8-9/t8-9*100									■	■	
3. Różnice procentowe (dystansowe, całościowe, 400H)											
T1-5/t400H*100	x	■	■	■	■	■					
T1-5/T1-10*100		■	■	■	■	■					
T6-10/t400h*100							■	■	■	■	x
T6-10/t1-10*100								■	■	■	
T1-4/t400H*100	x	■	■	■	■						
T1-4/t1-0*100		■	■	■	■						
T4-7/t400H*100				■	■	■	■				
T4-7/t1-10*100					■	■	■	■	■	■	
T7-10/t400H*100								■	■	■	x
T7-10/t1-10*100									■	■	
T0-1/t400H*100	x										
T1-3/t400H*100		■	■								
T3-5/t400H*100				■	■						
T6-8/t400H*100						■	■				
T8-10/t400H*100								■	■		
T10-F/t400H*100											x
T1200m-t200/400H*100	x	■	■	■	■	■	■	■	■	■	x
T400h	x	■	■	■	■	■	■	■	■	■	x

Spis tabel i rycin

Tabela 0. Skróty i symbole.....	3
Tabela 1.1. Czynniki wpływające na strategię biegu na 400 m przez płotki.....	21
Tabela 1.2.1. Charakterystyka dystansu 400 m przez płotki.....	25
Tabela 1.2.2. Usytuowanie płotków w biegu na 400 m przez płotki (wg „IAAF 400 metre standard track”).....	27
Tabela 1.3. Rozwój biegu na 400 m przez płotki mężczyzn – wybór historycznych faktów.....	31
Tabela 2.1.1. Finałowe biegi na 400 m przez płotki uwzględnione w analizie.....	54
Tabela 2.1.2. Finałowe biegi na 400 m przez płotki uwzględnione w dodatkowej analizie z lat 2013–2021.....	54
Tabela 2.1.3. Zestawienie zawodów na podstawie których przeprowadzono analizę (układ chronologiczny) – mężczyźni.....	54
Tabela 2.1.4. Czasowo-przestrzenna analiza strategii biegu na 400 m przez płotki – źródła danych.....	56
Tabela 2.2.1. Błąd pomiarowy i częstość jego występowania w analizie czasowej.....	58
Tabela 2.2.2. Rzetelność analizy czasowej w biegu na 400 m przez płotki.....	58
Tabela 2.3.1. Kryteria podziału dystansu 400 m przez płotki.....	61
Tabela 2.3.2. Wybór czterech fragmentów biegu na 400 m przez płotki według przyjętych kryteriów.....	63
Tabela 2.3.3. Podział podstawowych i dodawanych jednostek rytmicznych.....	64
Tabela 2.3.4. Parametry czasowe (podstawowe i dodawane) w biegu na 400 m przez płotki.....	65
Tabela 2.3.5. Parametry szacowane.....	66
Tabela 2.3.6. „Ćwiartki” – próby analizy biegu podzielonego na 4 części.....	67
Tabela 2.3.7. Parametry 1/3 dystansu.....	68
Tabela 2.3.8. Dwie części biegu – „połówki”.....	69
Tabela 2.3.9. Dwie części dystansu – różne koncepcje metodologiczne i 8 rozwiązań.....	69
Tabela 2.3.10. Części dystansu w zależności od ukształtowania bieżni.....	71
Tabela 2.3.11. Podział dystansu 400 m H z uwzględnieniem przepisów, techniki pokonywania płotków oraz fizjologii wysiłku.....	71
Tabela 2.3.12. Części dystansu 400 m przez płotki (inny wariant).....	71
Tabela 2.3.13. Części dystansu 400 m przez płotki – precyzyjne wariant szkoleniowy.....	74
Tabela 2.4.1. Wybór parametrów w ocenie strategii biegu na 400 m przez płotki – podział szczegółowy.....	76
Tabela 2.4.2. Zmienne podstawowe (czasowe i przestrzenne).....	82
Tabela 2.4.3. Struktura czasowa najlepszych biegaczy z lat 60.....	86
Tabela 2.4.4. Struktura czasowa biegu finałowego na 400 m ppł w czasie Igrzysk Olimpijskich w Tokio w 1964 roku.....	86
Tabela 2.4.5. Parametry dodawane.....	89

Tabela 2.4.6. Podział dystansu – nomenklatura treningowa (2JP).....	90
Tabela 2.4.7. Cztery części dystansu 400 m przez płotki.....	90
Tabela 2.4.8. Przeliczniki prędkościowe parametrów czasowych.....	91
Tabela 2.4.9. Międzyczasy biegu na 400 m przez płotki (<i>split times</i>) w dwóch wariantach (dystansowy i rytmowy).....	92
Tabela 2.4.10. Międzyczasy biegu na 400 m przez płotki – warianty „od końca” (dystansowy i rytmowy).....	93
Tabela 2.4.11. Różnice zmian parametrów czasowych i przestrzennych.....	94
Tabela 2.4.12. Różnice procentowe zmiennych czasowych.....	95
Tabela 2.4.13. Proporcje bezwzględne – parametry czasowe i przestrzenne.....	96
Tabela 2.4.14. Proporcje procentowe – parametry czasowe i przestrzenne.....	96
Tabela 2.4.15. Wskaźniki międzypłotkowe.....	97
Tabela 3.1.1. Zmienne rozwoju kariery sportowej w biegu na 400 m przez płotki.....	102
Tabela 3.1.2. Analiza korelacji między zmiennymi rozwoju kariery sportowej.....	102
Tabela 3.1.3. Współczynniki korelacji pomiędzy zmiennymi rozwoju mistrzostwa sportowego a wybranymi parametrami strategii biegu na 400 m przez płotki.....	102
Tabela 3.1.4. Budowa ciała medalistów igrzysk olimpijskich (1900–2021)	104
Tabela 3.1.5. Budowa ciała najlepszych płotkarzy świata (wybór zawodników ujętych w analizie).....	105
Tabela 3.1.6. Analiza korelacji parametrów budowy ciała z wybranymi zmiennymi.....	106
Tabela 3.1.7. Charakterystyka sprawnościowa i techniczna wybranych, najlepszych płotkarzy świata.....	109
Tabela 3.1.8. Typologia płotkarzy na 400 m (wybór).....	110
Tabela 3.1.9. Typologia płotkarzy na 400 m – różni, ale wybitni (Część I – historia).....	111
Tabela 3.1.10. Typologia płotkarzy na 400 m – różni, ale wybitni (Część II– płotkarze ujęci w analizie).....	112
Tabela 3.1.11. Wskaźniki poziomu techniki w kontekście poziomu sportowego i wyników w biegu na 400 m.....	113
Tabela 3.1.12. Współczynniki korelacji między WPT ₁ a wybranymi zmiennymi strategii biegu na 400 m przez płotki.....	114
Tabela 3.1.13. Analiza wariancji (ANOVA) grup płotkarzy o różnej wartości WPT ₁	115
Tabela 3.2.1. Podstawowe parametry czasowe (1PJ).....	118
Tabela 3.2.2. Wybrane, podstawowe jednostki płotkarskie (1PJ).....	119
Tabela 3.2.3. Współczynniki korelacji między czasem kolejnych jednostek płotkarskich (1PJ).....	121
Tabela 3.2.4. Czasowe zmienne podstawowe i łączone (tabela pozioma) – korelacje.....	121
Tabela 3.2.5. Czasowe parametry dodawane – dwie jednostki płotkarskie (2JP).....	126

Tabela 3.2.6. Czasowe parametry dodawane – trzy jednostki płotkarskie (3JP).....	126
Tabela 3.2.7. Czasowe parametry dodawane – cztery jednostki płotkarskie (4JP).....	127
Tabela 3.2.8. Czasowe parametry dodawane - długie (5-6 JP) jednostki płotkarskie.....	127
Tabela 3.2.9. Współczynniki korelacji między podwójnymi (2JP) jednostkami płotkarskimi.....	128
Tabela 3.2.10. Współczynniki korelacji między trzema jednostkami płotkarskimi (3JP).....	128
Tabela 3.2.11. Współczynniki korelacji między czterema jednostkami płotkarskimi (4JP).....	129
Tabela 3.2.12. Współczynniki korelacji wyniku w biegu na 400 m przez płotki z czasem jednostek płotkarskich (1JP-6JP).....	129
Tabela 3.2.13. Współczynniki korelacji między wybranymi zmiennymi a końcowym wynikiem w biegu na 400 m przez płotki – Część I.....	130
Tabela 3.2.14. Współczynniki korelacji między wybranymi zmiennymi a końcowym wynikiem w biegu na 400 m przez płotki. Część II.....	130
Tabela 3.2.15. Współczynniki korelacji w obrębie wybranych grup zmiennych. Cz. I. Pierwsza ćwiartka dystansu.....	131
Tabela 3.2.16. Współczynniki korelacji w obrębie wybranych grup zmiennych. Cz. II. Druga ćwiartka dystansu.....	131
Tabela 3.2.17. Współczynniki korelacji w obrębie wybranych grup zmiennych. Cz. III. Trzecia „ćwiartka” dystansu.....	132
Tabela 3.2.18. Współczynniki korelacji w obrębie wybranych grup zmiennych. Cz. IV. Czwarta „ćwiartka” dystansu.....	132
Tabela 3.2.19. Współczynniki korelacji w obrębie wybranych grup zmiennych. Cz. V. Pierwsza „połówka” dystansu.....	132
Tabela 3.2.20. Współczynniki korelacji w obrębie wybranych grup zmiennych. Cz. VI. Druga „połówka” dystansu.....	133
Tabela 3.2.21. Czasy szacowanych odcinków 100-metrowych najlepszych płotkarzy na Mistrzostwach Świata w 2022 r.....	135
Tabela 3.2.22. Czasowe parametry szacowane.....	136
Tabela 3.2.23. Współczynniki korelacji między wybranymi zmiennymi a końcowym wynikiem w biegu na 400 m przez płotki – „połówki” dystansu.....	137
Tabela 3.2.24. Współczynniki korelacji między wybranymi zmiennymi a końcowym wynikiem w biegu na 400 m przez płotki – „1/3” dystansu.....	137
Tabela 3.2.25. Współczynniki korelacji między wybranymi zmiennymi a końcowym wynikiem w biegu na 400 m przez płotki – „ćwiartki” dystansu.....	137
Tabela 3.2.26. Parametry prędkościowe (podstawowe).....	139
Tabela 3.2.27. Parametry prędkościowe (dodawane i szacowane).....	140
Tabela 3.2.28. Różnice parametrów czasowych (podstawowe).....	141
Tabela 3.2.29. Różnice parametrów czasowych (parcjalne) – 2-4 JP.....	142

Tabela 3.2.30. Różnice procentowe parametrów czasowych (podstawowe).....	142
Tabela 3.2.31. Różnice procentowe parametrów czasowych (parcjalne).....	143
Tabela 3.2.32. Proporcje parametrów czasowych – wariant I (wartości bezwzględne).....	145
Tabela 3.2.33. Proporcje parametrów czasowych – wariant II (wartości względne/procentowe).....	146
Tabela 3.2.34. Parametry procentowe (podstawowe) – 1JP.....	149
Tabela 3.2.35. Czasowe parametry procentowe (dodawane i szacowane).....	150
Tabela 3.2.36. Procentowe wskaźniki rytmowe.....	150
Tabela 3.2.37. Wskaźniki i współczynniki czasowe wybranych fragmentów biegu na 400 m.....	151
Tabela 3.2.38. Wybór zmiennych w obszarze różnic/proporcji w wybranych częściach dystansu.....	151
Tabela 3.2.39. Międzyczasy klasyczne.....	153
Tabela 3.2.40. Międzyczasy „od końca”.....	154
Tabela 3.2.41. Analiza czynnikowa uwzględniająca wszystkie warianty międzyczasów.....	155
Tabela 3.3.1. Parametry przestrzenne – podstawowe.....	159
Tabela 3.3.2. Współczynniki korelacji między wybranymi zmiennymi a końcowym wynikiem w biegu na 400 m przez płotki.....	161
Tabela 3.3.3. Współczynniki korelacji w obrębie wybranych grup zmiennych.....	161
Tabela 3.3.4. Parametry przestrzenne – dodawane (1).....	162
Tabela 3.3.5. Współczynniki korelacji w obrębie wybranych grup zmiennych przestrzennych.....	162
Tabela 3.3.6. Parametry dodawane (2) – „miedzykroki”.....	163
Tabela 3.3.7. Parametry przestrzenne – różnice.....	163
Tabela 3.3.8. Współczynniki korelacji między wybranymi zmiennymi a końcowym wynikiem w biegu na 400 m przez płotki.....	164
Tabela 3.3.9. Parametry przestrzenne uśrednione.....	164
Tabela 3.3.10. Parametry przestrzenne – proporcje klasyczne.....	165
Tabela 3.3.11. Współczynniki korelacji między wybranymi zmiennymi a końcowym wynikiem w biegu na 400 m przez płotki.....	165
Tabela 3.3.12. Parametry przestrzenne – proporcje „rytmowe”.....	166
Tabela 3.4.1. Liczba kroków między płotkami a średnia długość kroku płotkowego i kroków między nimi.....	170
Tabela 3.4.2. Krok płotkowy – podstawowe parametry.....	172
Tabela 3.4.3. Zmienne pośrednie – charakterystyka danych.....	173
Tabela 3.4.4. Zmienne pośrednie – długość i częstotliwość kroków.....	173
Tabela 3.4.5. Współczynniki korelacji między wynikami w biegu na 400 m przez płotki a czterema grupami parametrów.....	174

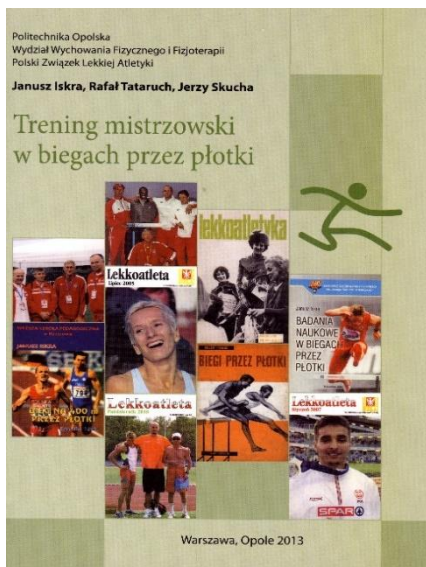
Tabela 3.5.1. Historyczne zmiany struktury przestrzennej (liczby kroków) w biegu na 400 m przez płotki mężczyzn.....	178
Tabela 3.5.2. Rytm kroków rekordzistów świata.....	180
Tabela 3.5.3. Zmienne decydujące o przestrzennej charakterystyce („szablon kroków”) biegu na 400 m przez płotki.....	180
Tabela 3.5.4. Podstawowe warianty szablonu kroków (mężczyźni) (<i>stride pattern</i>) – 7 wariantów.....	182
Tabela 3.5.5. Typologia rytmu kroków – charakterystyka.....	184
Tabela 3.5.6.A-N. Przykładowe „rytmy kroków” najlepszych płotkarzy świata.....	185
Tabela 3.5.7. Strategia przestrzenna w biegu na 400 m przez płotki mężczyzn – statystyki podstawowe.....	189
Tabela 3.5.8. Liczby kroków parzystych i nieparzystych.....	189
Tabela 3.5.9. Zmiany liczby kroków na poszczególnych etapach biegu na 400 m przez płotki.....	190
Tabela 3.5.10. Zmiany rytmu kroków i ich wpływ na parametry czasowe.....	190
Tabela 3.5.11. Typy rytmu w grupie najlepszych płotkarzy świata.....	191
Tabela 3.5.12. Podział struktury przestrzennej („model kroków”/ <i>stride pattern</i>) w biegu na 400 m przez płotki.....	192
Tabela 3.5.13. Podział rytmu kroków (<i>stride pattern</i>) w biegu na 400 m przez płotki mężczyzn (poziom światowy).....	193
Tabela 3.5.14. Uwagi szkoleniowe i przykładowe jednostki treningu „rytmowego” dla płotkarzy o różnym wyborze „ <i>stride pattern</i> ” (poziom światowy).....	194
Tabela 3.6.1. Lateralizacja w kontekście biegu na 400 m przez płotki.....	200
Tabela 3.6.2. Wykorzystanie nogi atakującej – (P(rawej) i L(ewej)) w czasie pokonywania kolejnych płotków przez najlepszych zawodników świata.....	202
Tabela 3.6.3. Zmiany nogi atakującej w czasie pokonywania płotków w kolejnych częściach dystansu.....	202
Tabela 3.6.4. Udział kończyny dolnej w czasie pokonywania kolejnych płotków w grupie mężczyzn.....	202
Tabela 3.7.1. Pozycje po pokonaniu kolejnych płotków medalistów wybranych igrzysk olimpijskich.....	205
Tabela 3.7.2. Wyniki analizy korelacji między pozycją na każdym płotku a międzyczasem w danej części biegu.....	206
Tabela 3.7.3. Pozycja płotkarza po pokonaniu kolejnych płotków a miejsce zajmowane na mecie dystansu.....	207
Tabela 3.7.4. Współczynniki korelacji między pozycjami na kolejnych płotkach.....	207
Tabela 3.8.1. Tory medalistów olimpijskich w biegu na 400 m przez płotki.....	211
Tabela 3.8.2. Zróznicowanie poziomu wyników płotkarzy biegających na różnych torach.....	212

Tabela 3.8.3. Istotność różnic między grupami zawodników biegających na różnych torach.....	212
Tabela 4.1. Zmiany wybranych parametrów w trzech okresach historycznych.....	217
Tabela 4.2.1. Podstawowe parametry.....	222
Tabela 4.2.2. Części dystansu 400 m przez płotki (dostosowane do celu tej części pracy).....	224
Tabela 4.2.3. Strategie płotkarzy w trzech częściach dystansu.....	224
Tabela 4.2.4. Analiza korelacji trzech strategii biegu z wybranymi parametrami biegu na 400 m przez płotki.....	225
Tabela 4.2.5. Analiza wariancji (ANOVA) strategii pierwszej części biegu na 400 m przez płotki (%T1-4, <i>speed</i>).....	226
Tabela 4.2.6. Analiza wariancji (ANOVA) strategii drugiej części biegu na 400 m przez płotki (%T4-7, <i>technique</i>).....	227
Tabela 4.2.7. Analiza wariancji (ANOVA) strategii trzeciej części biegu na 400 m przez płotki (%T7-10, <i>endurance</i>).....	228
Tabela 4.2.8. Indywidualne strategie biegu na 400 m przez płotki.....	228
Tabela 4.3.1. Różnice wybranych parametrów w grupach płotkarzy o różnym poziomie zaawansowania.....	236
Tabela 4.4.1. Budowa ciała i przygotowanie motoryczne i techniczne 4 analizowanych grup.....	243
Tabela 4.4.2. Parametry czasowe strategii czterech grup płotkarzy.....	244
Tabela 4.4.3. Parametry przestrzenne czterech grup płotkarzy.....	244
Tabela 4.4.4. „ <i>Stride pattern</i> ” czterech grup płotkarzy.....	245
Tabela 4.4.5. Analiza wariancji (ANOVA) wybranych zmiennych w czterech grupach płotkarzy.....	245
Tabela 4.5.1. Charakterystyka płotkarzy.....	252
Tabela 4.5.2. Pięć typów „ <i>stride pattern</i> ” uwzględnionych w pracy.....	253
Tabela 4.5.3. Podstawowe statystyki.....	255
Tabela 4.5.4. Podstawowe parametry czasowe.....	256
Tabela 4.5.5. Parametry czasowe dodawane (wybór).....	257
Tabela 4.5.6. Podstawowe parametry przestrzenne.....	258
Tabela 4.5.7. Dodawane parametry przestrzenne (wybór).....	259
Tabela 4.5.8. Miejsca zmian „rytmu” kroków w grupach płotkarzy o zróżnicowanej strategii biegu.....	260
Tabela 4.5.9. Wartości procentowe jednostek płotkarskich pokonywanych w „rytmie” nieparzystym i parzystym.....	260
Tabela 4.6.1. Wyniki biegu finałowego na 400 m przez płotki na igrzyskach Olimpijskich w 2021 r.....	267
Tabela 4.6.2. Sprawność motoryczna pięciu najlepszych płotkarzy okresu 2018–2021.....	268

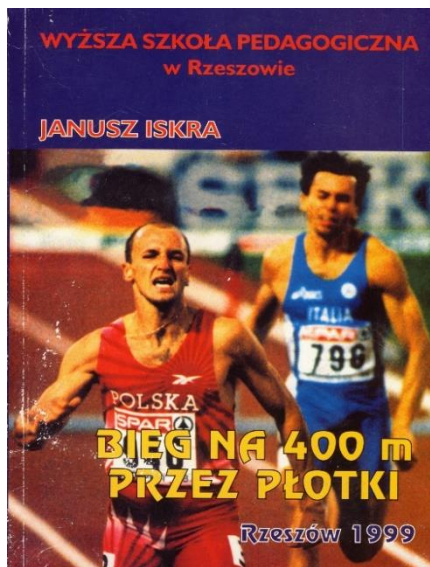
Tabela 4.6.3. Budowa ciała i przebieg mistrzostwa sportowego finalistów Igrzysk Olimpijskich w Tokio 202/21.....	268
Tabela 4.6.4. „Stride pattern” w wykonaniu najlepszych zawodników świata w latach 2017–2021.....	270
Tabela 4.6.5. Grupy najlepszych płotkarzy z dwóch okresów.....	270
Tabela 4.6.6. Różnice wybranych parametrów podstawowych w grupach płotkarzy z lat 2013–2016.....	271
Tabela 4.6.7. Czasy podstawowych jednostek płotkarskich w dwóch grupach.....	272
Tabela 4.6.8. Czasowe parametry dodawane w dwóch grupach płotkarzy.....	273
Tabela 4.6.9. Wartości procentowe podstawowych zmiennych czasowych (= rozkład tempa) w dwóch grupach płotkarzy (%).....	274
Tabela 4.6.10. Parametry przestrzenne (liczba kroków) w dwóch grupach płotkarzy.....	274
Tabela 4.6.11. Parametry „rytmowe” w dwóch grupach płotkarzy.....	275
Tabela 4.7.1. Zmienne wykorzystane podczas analiz regresyjnych.....	280
Tabela 4.7.2. Model regresji krokowej postępującej dla wyniku 400m ppł.....	281
Tabela 4.7.3. Model regresji krokowej dwukierunkowej dla wyniku 400 m ppł.....	281
Tabela 4.7.4. Model regresji krokowej postępującej dla wyniku dla części płotkarskiej (czas od 1 do 10 płotka) biegu 400m ppł.....	282
Tabela 4.7.5. Model regresji krokowej dwukierunkowej dla wyniku dla części płotkarskiej (czas od 1 do 10 płotka) biegu 400 m ppł.....	283
Tabela 4.7.6. Strategia biegu na 400 m przez płotki w ocenie analizy PCA.....	285
Tabela 4.7. 7. Wyniki PCA zmiennych pierwszej (H1-4) części dystansu.....	287
Tabela 4.7.8. Wyniki PCA zmiennych drugiej (H4-7) części dystansu.....	288
Tabela 4.7.9. Wyniki PCA zmiennych trzeciej (H7-10) części dystansu.....	290
Tabela 4.7.10. Strategia biegu na 400 m przez płotki w ujęciu analizy PCA – końcowa analiza.....	291
Rycina 1.1. Czynniki wpływające na strategię biegu na 400 m przez płotki.....	22
Rycina 1.2.1. Ustawienie płotków na dystansie 400 m przez płotki (pierwszy tor).....	26
Rycina 1.2.2. Ustawienie płotków na przełomie pierwszej prostej i drugiego wirażu (tory 1-8).....	27

Wybrane książki autora

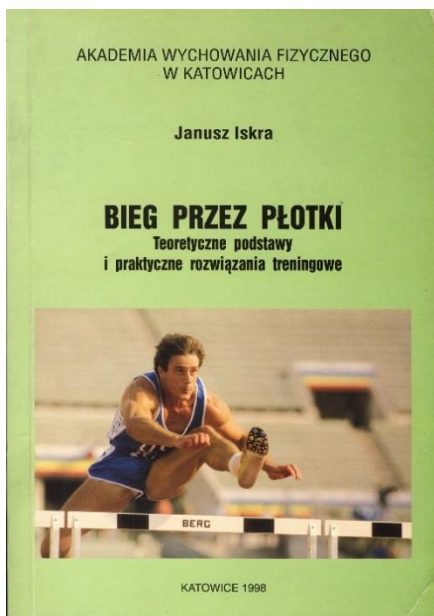
Book 1



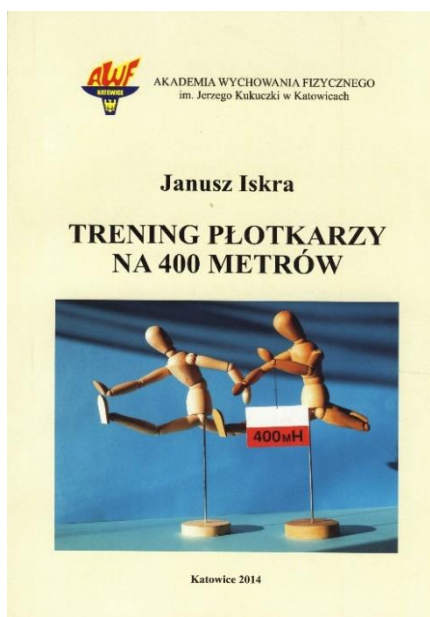
Book 2



Book 3



Book 4





Janusz Iskra, prof. dr hab., trener klasy mistrzowskiej, specjalizujący się w biegach przez płotki (ze wskazaniem na 400 m) oraz w biegach sprinterskich.

W pracy naukowej zajmuje się uwarunkowaniami mistrzostwa sportowego w lekkoatletycznych konkurencjach szybkościowych – rozprawa habilitacyjna: „Morfologiczne i funkcjonalne uwarunkowania rezultatów w biegach przez płotki” (2001), przewod profesorski oparty na temacie „Optymalizacja treningu sportowego w biegu na 400 m przez płotki”.

Autor wielu artykułów i publikacji książkowych na temat treningu sportowego w biegach przez płotki. Prace te ukazały się m.in. w Track Coach, Track Technique, a także w amerykańskich podręcznikach biegu przez płotki („The hurdles. Contemporary Theory, Technique and Training”). W zakresie problematyki płotkarskiej prof. Janusz Iskra wydał m.in. „Bieg na 400 m przez płotki” (1999), „Badania naukowe w biegach przez płotki” (2012) oraz „Trening płotkarzy na 400 m” (2014).

Inicjator i organizator konferencji „Polska myśl szkoleniowa w lekkoatletyce” (2013, 2015, 2017, 2019, 2022) i popularyzator wiedzy lekkoatletycznej („Lekkoatletyka olimpijska. Wybór wydarzeń” – 2021)

Trener konkurencji szybkościowych, głównie biegów przez płotki. Trener szkolenia centralnego w latach 1989–2002, trener olimpijski (2000). Wychowawca m.in. takich zawodników jak: Paweł Januszewski (400 m ppt – mistrz Europy z 1998 r.), bracia Krzysztof i Ronald Mehlichowie (110 m ppt), Zuzanna Radecka (200 m) i Michał Pietrzak (400 m).

ISSN 1429-6063

ISBN 978-83-66903-34-0