Akademia Wychowania Fizycznego
im. Jerzego Kukuczki
w Katowicach

Maciej Hołub

Strategie rozkładu tempa w pływaniu stylem dowolnym mężczyzn – ujęcie modelowe na poziomie elity światowej

Rozprawa na stopień doktora nauk o kulturze fizycznej

Promotor:
prof. dr hab. Arkadiusz Stanula

Katowice 2026

Spis treści

Wykaz skrótów i oznaczeń 4

1. Styl dowolny w strukturze współczesnego pływania wyczynowego 10

1.1. Charakterystyka i znaczenie stylu dowolnego w pływaniu wyczynowym 10
1.2. Przepisy World Aquatics stylu dowolnego 11
1.3. Zawody najwyższej rangi jako środowisko oceny wyników w stylu dowolnym 12

2. Rozkład tempa pokonania dystansu (pacing) 15

2.1. Definicja i podstawowe zasady pacingu 15
2.2. Historia i rozwój badań nad pacingiem 15
2.3. Rola pacingu w optymalizacji wyników sportowych 16
2.4. Przykłady zastosowania pacingu w innych dyscyplinach sportowych 17
2.5. Schematy pacingu w pływaniu 18

3. Problem badawczy w świetle piśmiennictwa 23

3.1. Badania dotyczące rozkładu tempa w pływaniu różnymi stylami 23
3.2. Metodologie analizy tempa pływania 24
3.3. Przegląd stosowanych metod statystycznych i analitycznych 26
3.4. Nowoczesne technologie w analizie tempa 26
3.5. Wpływ czynników biomechanicznych, fizjologicznych i psychologicznych na pacing 28
3.6. Wydolność fizyczna jako determinanta strategii tempa. 29
3.7. Rola psychologii sportu w zarządzaniu tempem wyścigu 31
3.8. Wpływ zmiennych biomechanicznych na zarządzanie tempem wyścigu 33

4. Cel pracy i pytania badawcze 35

5. Materiał i metody badań 38

5.1. Materiał do badań 38
5.2. Metody analizy danych 54

6. Wyniki 57

6.1. Różnice w rozkładzie tempa 57
6.2. Zależność między odcinkiem a czasem pokonania dystansu 68

6.3. Współczynniki rozkładu tempa 78

7. Dyskusja 84

7.1. Uniwersalny i powtarzalny schemat rozkładu tempa w pływaniu elitarnym 84

7.2. Fragmenty dystansu o największej dynamice zmian tempa w zależności od długości konkurencji 86

7.3. Schematy tempa na podstawie analizy międzyczasów na różnych dystansach 87

7.4. Charakter matematyczny rozkładu tempa: liniowy vs krzywoliniowy 90

8. Implikacje praktyczne dla trenerów i sztabów szkoleniowych 92

Wnioski 97

Streszczenie 98

Summary 100

Bibliografia 102

Spis tabel 118

Spis wykresów 120

Spis załączników 121

Wykaz skrótów i oznaczeń

Wykaz skrótów i akronimów

- **ATP** – (ang. *Adenosine Triphosphate*) Adenozynotrifosforan
- **CW** – (ang. *Commonwealth Games*) Igrzyska Wspólnoty Narodów
- **GPS** – (ang. *Global Positioning System*) Globalny System Pozycjonowania
- **HIIT** – (ang. *High-Intensity Interval Training*) Trening interwałowy o wysokiej intensywności
- **HRT** – (ang. *Heart Rate Threshold*) Próg tętna
- **IAnT** – (ang. *Individual Anaerobic Threshold*) Indywidualny próg beztlenowy
- **IdC** – (fr. *Index de Coordination*) Indeks koordynacji
- **IMU** – (ang. *Inertial Measurement Unit*) Bezwładnościowa jednostka pomiarowa
- **IO** – Igrzyska olimpijskie
- **LT** – (ang. *Lactate Threshold*) Próg mleczanowy
- **ME** – Mistrzostwa Europy
- **MLSS** – (ang. *Maximal Lactate Steady State*) Maksymalny stan równowagi mleczanowej
- **MLSSV** – (ang. *Maximal Lactate Steady State Velocity*) Prędkość odpowiadająca maksymalnemu stanowi równowagi mleczanowej
- **MŚ** – Mistrzostwa świata
- **PCr** – (ang. *Phosphocreatine*) Fosfokreatyna
- **PP** – (ang. *Pan Pacific Swimming Championships*) Mistrzostwa Pacyfiku w Pływaniu
- **SI** – (ang. *Stroke Index*) Wskaźnik kroku pływackiego
- **SL** – (ang. *Stroke Length*) Długość cyklu pływackiego
- **SR** – (ang. *Stroke Rate*) Częstotliwość cyklów pływackich
- **SMLSS** – (ang. *Speed at Maximal Lactate Steady State*) Prędkość odpowiadająca maksymalnemu stanowi równowagi mleczanowej
- **SWOLF** – (ang. *Swimming and Golf*) Wskaźnik efektywności pływania
- **USRPT** – (ang. *Ultra-Short Race-Pace Training*) Ultra-krótki trening w tempie startowym
- **VO_2max** – (ang. *Maximal Oxygen Uptake*) Maksymalny pobór tlenu (pułap tlenowy)

- **VT** – (ang. *Ventilatory Threshold*) Próg wentylacyjny
- **WADA** – (ang. World Anti-Doping Agency) Światowa Agencja Antydopingowa

Oznaczenia statystyczne i matematyczne

- **ANOVA** – (ang. *Analysis of Variance*) Analiza wariancji
- **B** – (ang. *unstandardized regression coefficient*) Niestandaryzowany współczynnik regresji
- **CL** – (ang. *Confidence Interval* / *Confidence Limits*) Przedział ufności / granice ufności
- **CV** – (ang. *Coefficient of Variation*) Współczynnik zmienności
- $\mathbf{CV_M}$ – Współczynnik zmienności odcinków środkowych wyścigu
- $\mathbf{CV_T}$ – Współczynnik zmienności całego dystansu wyścigu
- **d** – (ang. *Cohen's d*) Wielkość efektu Cohena
- **df** – (ang. *degrees of freedom*) Stopnie swobody
- **F** – (ang. *F-statistic*) Statystyka testu *F*
- **ICC** – (ang. *Intraclass Correlation Coefficient*) Współczynnik korelacji wewnątrzklasowej
- **k** – Liczba odcinków środkowych wyścigu
- **LL** – (ang. *Lower Limit*) Dolna granica przedziału ufności
- **M** – (ang. *Mean*) Średnia arytmetyczna
- **m** – Metr, jednostka w układzie SI
- **n** – Liczba wszystkich odcinków dystansu wyścigu
- **p** – (ang. *p-value*) Poziom istotności statystycznej
- **r** – (ang. *Pearson's r*) Współczynnik korelacji liniowej Pearsona
- $\mathbf{R^2}$ – (ang. *R-squared*) Współczynnik determinacji
- $\mathbf{R_{L1}}$ – Wskaźnik relacji czasu ostatniego odcinka do czasu pierwszego odcinka wyścigu
- $\mathbf{R_{1M}}$ – Wskaźnik relacji czasu pierwszego odcinka do średniego czasu odcinków środkowych
- $\mathbf{R_{2M}}$ – Wskaźnik relacji czasu drugiego odcinka do średniego czasu odcinków środkowych
- $\mathbf{R_{LM}}$ – Wskaźnik relacji czasu ostatniego odcinka do średniego czasu odcinków środkowych

- $\mathbf{R_{PLM}}$ – Wskaźnik relacji czasu przedostatniego odcinka do średniego czasu odcinków środkowych
- **SD** – (ang. *Standard Deviation*) Odchylenie standardowe
- $\mathbf{SD_{mid}}$ – Odchylenie standardowe czasów odcinków środkowych wyścigu
- $\mathbf{SD_{total}}$ – Odchylenie standardowe czasów wszystkich odcinków wyścigu
- **SEM** – (ang. *Standard Error of Measurement* / *Standard Error of the Mean*) Standardowy błąd pomiaru / błąd standardowy średniej
- $\mathbf{T_1}$ – Czas pierwszego odcinka wyścigu
- $\mathbf{T_2}$ – Czas drugiego odcinka wyścigu
- $\mathbf{T_i}$ – Czas *i*-tego odcinka wyścigu
- $\mathbf{T_l}$ – Czas ostatniego odcinka wyścigu
- $\mathbf{T_{mid}}$ – Średni czas odcinków środkowych wyścigu
- $\mathbf{T_{pl}}$ – Czas przedostatniego odcinka wyścigu
- **UL** – (ang. *Upper Limit*) Górna granica przedziału ufności
- $\boldsymbol{\beta}$ – (ang. *standardized regression coefficient*) Standaryzowany współczynnik regresji
- $\boldsymbol{\eta_p^2}$ – (ang. *partial eta-squared*) Cząstkowe eta-kwadrat

Wstęp

Pływanie należy do najczęściej uprawianych dyscyplin sportowych na świecie i zajmuje ważne miejsce w programie olimpijskim, zarówno pod względem liczby uczestników, jak i atrakcyjności medialnej (Mountjoy i in., 2016). Znaczenie pływania w rywalizacji międzynarodowej, obejmującej igrzyska olimpijskie, mistrzostwa świata oraz zawody Pucharu Świata, wynika zarówno z widowiskowego charakteru tej dyscypliny, jak i z dużego potencjału analitycznego wynikającego z możliwości precyzyjnego pomiaru rezultatów oraz wysokiej powtarzalności warunków rywalizacji (Gonjo & Olstad, 2021). Właściwości te czynią pływanie szczególnie wartościowym obiektem badań nad efektywnością wysiłku fizycznego oraz strategiami startowymi.

Wśród czterech podstawowych stylów pływackich to właśnie styl dowolny — w praktyce najczęściej wykonywany jako kraul na piersiach — dominuje w programie zawodów, zarówno w konkurencjach indywidualnych, jak i sztafetowych. Charakteryzuje się on największą szybkością oraz szerokimi możliwościami doboru tempa i taktyki wyścigu (Ribeiro i in., 2013; Silva i in., 2025).

Jednym z kluczowych aspektów wpływających na wynik końcowy w konkurencjach pływackich, zwłaszcza średnio- i długodystansowych, jest sposób zarządzania tempem na poszczególnych etapach wyścigu, określany w literaturze mianem pacingu (McGibbon i in., 2018). Pojęcie to odnosi się do strategii rozkładu intensywności wysiłku w czasie trwania rywalizacji. Ma ono istotne znaczenie nie tylko w pływaniu, ale również w innych sportach wytrzymałościowych, takich jak biegi długodystansowe, kolarstwo torowe czy łyżwiarstwo szybkie (Stoter i in., 2016; Thiel i in., 2012).

Wybór odpowiedniego schematu pacingowego pozwala zawodnikowi zoptymalizować wykorzystanie zasobów energetycznych, zminimalizować ryzyko przedwczesnego zmęczenia oraz maksymalnie wykorzystać potencjał końcowego przyspieszenia. W pływaniu wyróżnia się kilka klasycznych wzorców pacingu, m.in. rozkład równomierny, strategię negatywną, polegającą na przyspieszeniu w drugiej połowie wyścigu, strategię pozytywną, charakteryzującą się szybkim początkiem i wolniejszym zakończeniem, strategię all-out, zakładającą maksymalną intensywność od startu, a także bardziej złożone schematy, takie jak rozkład paraboliczny czy strategia w kształcie litery „J” (Lipińska i in., 2016). Dotychczasowe

badania sugerują, że wybór optymalnego rozkładu tempa może różnić się w zależności od długości dystansu, indywidualnych cech zawodnika oraz fazy zawodów.

Pomimo rosnącego zainteresowania tematyką pacingu w sporcie literatura naukowa wciąż oferuje ograniczoną liczbę pogłębionych i systematycznych analiz porównujących rzeczywiste schematy rozkładu tempa u zawodników światowej klasy, osiągających najwyższe rezultaty w historii. W szczególności dotyczy to konkurencji pływackich w stylu dowolnym rozgrywanych na basenie 50-metrowym, gdzie strategia tempa odgrywa kluczową rolę w końcowym wyniku, a nawet subtelne różnice w jej realizacji mogą decydować o miejscach medalowych.

Dotychczasowe badania koncentrowały się głównie na analizie pojedynczych wyścigów, wybranych zawodników lub określonych grup dystansowych. Rzadko obejmowały natomiast pełny zakres konkurencji i uwzględniały szerszy kontekst wyników osiąganych na przestrzeni lat. W efekcie dominujące wzorce pacingowe pozostają słabo udokumentowane, a ich rozpoznanie bywa utrudnione przez brak dostępu do pełnych danych dotyczących międzyczasów oraz ograniczone możliwości porównań w obrębie poszczególnych dystansów.

Jednocześnie pływanie jako dyscyplina sportowa charakteryzuje się wyjątkowo wysokim stopniem standaryzacji warunków startowych, takich jak długość toru, liczba nawrotów, środowisko startowe czy regulaminowe aspekty techniczne. Są one niemal identyczne we wszystkich zawodach najwyższej rangi. Taka powtarzalność sprzyja bezpośrednim porównaniom wyników i strategii startowych między zawodnikami oraz na przestrzeni lat. Tym bardziej zaskakujący jest fakt, że zagadnienie schematów pacingowych wciąż nie doczekało się szerszego ujęcia naukowego.

Istnieją wyraźne przesłanki sugerujące, że na poszczególnych dystansach w stylu dowolnym można zidentyfikować konkretne, powtarzalne wzorce rozkładu tempa, które cechują się wysoką skutecznością i występują u zawodników należących do elity światowej. Ich lepsze poznanie może znacząco wzbogacić wiedzę na temat mechanizmów osiągania sukcesu w pływaniu na najwyższym poziomie oraz stanowić praktyczne narzędzie dla trenerów i zawodników.

Niniejsza praca odpowiada na tę lukę badawczą poprzez kompleksową analizę najlepszych męskich wyników w historii pływania stylem dowolnym na dystansach 100, 200, 400, 800

i 1500 metrów, uzyskanych na basenie 50-metrowym. Celem badania jest identyfikacja powtarzających się i efektywnych schematów rozkładu tempa charakterystycznych dla każdego z analizowanych dystansów, ocena ich skuteczności oraz opracowanie modelu teoretycznego, który może zostać wykorzystany jako narzędzie wspomagające proces planowania strategii wyścigowych — zarówno w pracy trenerskiej, jak i w dalszych badaniach naukowych.

Takie podejście umożliwia nie tylko lepsze zrozumienie dynamiki tempa na najwyższym poziomie sportowym, ale również otwiera nowe perspektywy dla optymalizacji treningu i rozwoju zawodników. W pracy podjęta zostanie analiza danych pochodzących z oficjalnych wyników, rankingów światowych oraz tabel rekordów, a także wykorzystane zostaną narzędzia statystyczne służące do modelowania tempa i jego zmienności.

Analiza skoncentruje się na wyłonieniu charakterystycznych schematów pacingu dla poszczególnych dystansów oraz na określeniu, które elementy strategii — takie jak dynamika startu, równomierność tempa w środkowej części wyścigu czy przyspieszenie końcowe — najczęściej występują w najlepszych wynikach historycznych i mogą być uznane za skuteczne. Ostatecznie celem pracy jest nie tylko poszerzenie wiedzy na temat mechanizmów zarządzania tempem w wyścigu pływackim, ale również sformułowanie wniosków praktycznych, które mogą znaleźć zastosowanie w treningu oraz planowaniu startów przez zawodników i trenerów.

1. Styl dowolny w strukturze współczesnego pływania wyczynowego

1.1. Charakterystyka i znaczenie stylu dowolnego w pływaniu wyczynowym

Styl dowolny, utożsamiany we współczesnym sporcie pływackim niemal wyłącznie z techniką kraula na piersiach, jest najbardziej rozpowszechnionym i najszybszym sposobem pływania (Rakowski, 2020). Ze względu na wysoką efektywność ruchową, rytmiczność oraz duży potencjał prędkościowy kraul dominuje zarówno w konkurencjach indywidualnych, jak i sztafetowych. Jest również powszechnie stosowany w pływaniu na wodach otwartych oraz w części pływackiej triathlonu (López-Belmonte i in., 2023). Jego znaczenie wynika przede wszystkim z możliwości ciągłego generowania napędu bez wyraźnej fazy spowolnienia, co pozwala osiągać wysoką prędkość pływania przy relatywnie korzystnym wydatku energetycznym (Sanders & McCabe, 2015).

W analizie biomechanicznej kraula cykl pracy kończyny górnej dzieli się na fazy nienapędowe, obejmujące wejście ręki do wody, chwyt i powrót ramienia, oraz fazy napędowe, obejmujące pociągnięcie i odepchnięcie (Chollet i in., 2000). Autorzy ci wskazują również, że organizacja ruchu w tej technice zmienia się m.in. w zależności od wariantu pracy kończyn dolnych, obejmującego kopnięcie dwu-, cztero- lub sześciotaktowe. Tak zorganizowany cykl ruchowy umożliwia efektywne wykorzystanie siły mięśni kończyn górnych, które odpowiadają za największą część napędu w kraulu (Ribeiro i in., 2013; Toussaint, 1992). Kluczowe znaczenie dla skuteczności pływania ma jednak koordynacja pracy kończyn górnych i dolnych, oddychania oraz utrzymania optymalnej pozycji ciała w wodzie, ponieważ wpływa ona na pływalność, minimalizację oporu hydrodynamicznego i optymalizację sił napędowych (Seifert i in, 2010; Seifert & Chollet, 2010). Duża elastyczność techniki kraula sprawia, że jej parametry mogą być modyfikowane w zależności od dystansu, poziomu zaawansowania zawodnika oraz charakteru konkurencji — od sprinterskich wyścigów na 50 m po długodystansowe konkurencje pływackie na wodach otwartych (Carmigniani i in., 2020).

Styl dowolny jest często wykorzystywany jako podstawowy środek treningowy w pływaniu wyczynowym, niezależnie od specjalizacji zawodnika, ponieważ stanowi najczęściej stosowany styl w codziennej praktyce treningowej (Aspenes i in., 2009). Jest wykorzystywany zarówno w treningu ogólnorozwojowym, jak i wytrzymałościowym, niezależnie od specjalizacji zawodnika. Ponadto technika kraula daje szerokie możliwości optymalizacji

biomechanicznej. Współczesne metody analizy wideo w pływaniu umożliwiają jakościową i ilościową ocenę techniki oraz kontrolę wybranych parametrów kinematycznych, takich jak długość i częstotliwość cyklu pływackiego, prędkość, czas cyklu, kąty stawowe, koordynacja ruchów kończyn oraz rotacja barków i bioder. (Mooney i in., 2015). Dzięki temu możliwe jest indywidualne dostosowanie techniki do predyspozycji zawodnika oraz poprawa ekonomii i skuteczności ruchu.

Ze względu na swoją uniwersalność, efektywność i znaczenie w programie zawodów, styl dowolny pozostaje fundamentalną techniką pływacką we współczesnym sporcie wyczynowym. Obejmuje największą liczbę konkurencji indywidualnych, stanowi kluczowy element rywalizacji sztafetowej i jest podstawą procesu treningowego większości pływaków.

1.2. Przepisy World Aquatics stylu dowolnego

Zgodnie z przepisami World Aquatics, przywoływanymi przez Polski Związek Pływacki (2026), w konkurencjach rozgrywanych stylem dowolnym zawodnik posiada pełną swobodę wyboru techniki pływania. W praktyce najczęściej wykorzystywaną techniką jest kraul na piersiach, ponieważ uznaje się go za najbardziej efektywny i najszybszy spośród stosowanych stylów pływackich. Przepisy nie narzucają jednak obowiązku pływania kraulem, lecz pozostawiają zawodnikowi możliwość wyboru techniki, o ile nie narusza ona ogólnych zasad konkurencji.

Istotny wyjątek dotyczy konkurencji stylu zmiennego, zarówno indywidualnych, jak i sztafetowych. W tym przypadku określenie „styl dowolny” nie oznacza całkowitej swobody wyboru, lecz każdy sposób pływania z wyłączeniem stylu grzbietowego, klasycznego oraz motylkowego. Ma to na celu zachowanie odrębności poszczególnych odcinków konkurencji zmiennej i zapobieganie powtarzaniu technik, które zostały już wykorzystane we wcześniejszych częściach wyścigu.

Podczas wyścigu zawodnik ma obowiązek dotknąć ściany basenu po przepłynięciu każdej długości oraz na zakończenie dystansu. Dotknięcie ściany może nastąpić dowolną częścią ciała, co odróżnia styl dowolny od stylów bardziej restrykcyjnych technicznie, takich jak styl klasyczny czy motylkowy. Przepisy wymagają również, aby pływak przez cały czas trwania

wyścigu utrzymywał kontakt z powierzchnią wody. Dopuszczalne jest jednak całkowite zanurzenie ciała po starcie oraz po każdym nawrocie, pod warunkiem że nie przekroczy ono dystansu 15 metrów. Przed minięciem tej granicy głowa zawodnika musi wynurzyć się ponad powierzchnię wody. Zasada ta ma duże znaczenie, ponieważ ogranicza możliwość zbyt długiego poruszania się pod wodą, co mogłoby dawać nieproporcjonalną przewagę techniczną nad rywalami.

1.3. Zawody najwyższej rangi jako środowisko oceny wyników w stylu dowolnym

Zawody najwyższej rangi stanowią jeden z najważniejszych punktów odniesienia w ocenie poziomu sportowego współczesnego pływania wyczynowego. Ich znaczenie wynika nie tylko z prestiżu sportowego, lecz także z wysokiego stopnia organizacyjnej i technicznej standaryzacji rywalizacji. W badaniach nad rozwojem wyników sportowych szczególnie istotne jest bowiem, aby analizowane rezultaty pochodziły z zawodów rozgrywanych w możliwie jednorodnych warunkach startowych, z wykorzystaniem wiarygodnych systemów pomiaru czasu oraz według jednolitych procedur organizacyjnych i sędziowskich.

Najwyższą pozycję w międzynarodowym systemie rywalizacji pływackiej zajmują igrzyska olimpijskie oraz mistrzostwa świata. Są to imprezy, do których zawodnicy przygotowują się w sposób szczególnie ukierunkowany, podporządkowując im często cały sezon lub wieloletni cykl szkoleniowy. Wyniki uzyskiwane podczas tych zawodów można zatem traktować jako odzwierciedlenie najwyższych możliwości startowych zawodników w danym okresie. Ranga sportowa igrzysk olimpijskich i mistrzostw świata sprawia, że udział w nich biorą przedstawiciele światowej elity, a sama rywalizacja odbywa się w warunkach najwyższej presji sportowej, organizacyjnej i medialnej.

Istotnym elementem systemu rywalizacji są również mistrzostwa Europy. Choć mają one charakter kontynentalny, ich poziom sportowy pozostaje bardzo wysoki, ponieważ Europa należy do najważniejszych ośrodków rozwoju pływania wyczynowego. Zawodnicy europejscy regularnie odgrywają znaczącą rolę podczas igrzysk olimpijskich i mistrzostw świata, dlatego mistrzostwa Europy stanowią ważne źródło informacji o poziomie sportowym w jednym z najsilniejszych regionów pływackich. Ich uwzględnienie pozwala analizować wyniki uzyskiwane w warunkach silnej konkurencji, przy zachowaniu wysokiego poziomu organizacyjnego i porównywalnych zasad rozgrywania konkurencji.

Uzupełnieniem globalnego i europejskiego systemu rywalizacji są mistrzostwa Pan Pacific oraz igrzyska Wspólnoty Narodów. Mistrzostwa Pan Pacific skupiają zawodników z państw należących do najważniejszych potęg pływackich świata, w tym Stanów Zjednoczonych, Australii, Kanady i Japonii. Z kolei igrzyska Wspólnoty Narodów, mimo odmiennego charakteru organizacyjnego, obejmują reprezentacje krajów o bardzo wysokim poziomie sportowym, zwłaszcza Australii, Kanady, Anglii, Nowej Zelandii i Republiki Południowej Afryki. Zawody te poszerzają perspektywę oceny poziomu sportowego poza klasyczny układ igrzysk olimpijskich, mistrzostw świata i mistrzostw Europy, a jednocześnie zachowują wysoką wartość analityczną.

Szczególne znaczenie zawodów najwyższej rangi wynika z relatywnej homogeniczności warunków startowych. W pływaniu wynik sportowy zależy nie tylko od poziomu przygotowania zawodnika, lecz również od jakości obiektu, głębokości niecki, parametrów torów, konstrukcji słupków startowych, ograniczenia ruchu wody, systemu pomiaru czasu oraz procedur organizacyjnych. Imprezy olimpijskie, mistrzowskie i międzykontynentalne charakteryzują się wysokim standardem technicznym, co ogranicza wpływ przypadkowych czynników zewnętrznych na rezultat. Dzięki temu wyniki uzyskiwane podczas zawodów tej rangi są bardziej porównywalne i mogą być traktowane jako wiarygodny materiał do oceny rzeczywistego poziomu sportowego zawodników.

Duże znaczenie ma również dostępność szczegółowych danych wynikowych, w tym międzyczasów uzyskiwanych na kolejnych odcinkach dystansu. W analizie konkurencji stylu dowolnego same wyniki końcowe nie zawsze pozwalają w pełni ocenić przebieg rywalizacji. Dane międzyczasowe umożliwiają bardziej szczegółową charakterystykę sposobu pokonywania dystansu, ocenę tempa pływania, zmian prędkości, strategii startowej oraz różnic pomiędzy zawodnikami na poszczególnych fragmentach wyścigu. Dostępność takich informacji zwiększa wartość poznawczą materiału badawczego i pozwala prowadzić analizę nie tylko końcowego rezultatu, lecz także struktury osiągniętego wyniku.

W kontekście stylu dowolnego znaczenie omawianych zawodów jest szczególnie duże. Konkurencje dowolne obejmują dystanse sprinterskie, średnie i długie, przez co wymagają zróżnicowanych predyspozycji fizjologicznych, technicznych i taktycznych. Analiza wyników uzyskiwanych podczas zawodów najwyższej rangi pozwala uchwycić zarówno aktualny poziom światowej i kontynentalnej elity, jak również zmiany zachodzące w sposobie przygotowania oraz rozgrywania konkurencji. Wysoki poziom sportowy uczestników,

porównywalność warunków startowych oraz dostępność danych międzyczasowych sprawiają, że zawody te stanowią szczególnie wartościowy punkt odniesienia w badaniach nad rozwojem wyników w pływaniu wyczynowym.

2. Rozkład tempa pokonania dystansu (pacing)

2.1. Definicja i podstawowe zasady pacingu

Pacing, czyli rozkład tempa pokonywania dystansu, to świadome rozłożenie intensywności wysiłku na całej długości wyścigu pływackiego (Thompson i in., 2000). Odpowiednia strategia pacingu pozwala zawodnikowi osiągnąć optymalny wynik poprzez efektywne zarządzanie zasobami energetycznymi, minimalizację zmęczenia oraz maksymalne wykorzystanie możliwości fizjologicznych w końcowej fazie dystansu. Podstawowym założeniem pacingu jest to, że niezależnie od długości dystansu, pływak nie powinien płynąć „na maksimum" od pierwszych metrów, lecz dostosować intensywność w taki sposób, by utrzymać efektywność techniczną i wysoką prędkość przez cały wyścig. W praktyce oznacza to kontrolę tempa, długości cykli pływackich (stroke length), częstotliwości ruchów (stroke rate) oraz momentu przyspieszenia lub utrzymania tempa w kluczowych odcinkach dystansu.

2.2. Historia i rozwój badań nad pacingiem

Zagadnienie tempa pokonywania dystansu w pływaniu – pacingu – od wielu dekad przyciąga uwagę trenerów, fizjologów oraz naukowców zajmujących się sportami wytrzymałościowymi. Choć zarządzanie intensywnością wysiłku było wykorzystywane intuicyjnie od dawna, to dopiero rozwój nauk o sporcie w drugiej połowie XX wieku umożliwił systematyczną analizę tempa oraz jego wpływu na wynik końcowy. Pacing zaczęto rozpatrywać jako odrębny element strategii startowej, którego skuteczność zależy nie tylko od przygotowania fizycznego, ale także od umiejętności technicznego rozłożenia wysiłku.

Pierwsze badania nad pacingiem w pływaniu miały głównie charakter statystyczny – analizowano międzyczasy z wyścigów elity światowej, co pozwoliło na identyfikację powtarzalnych wzorców tempa charakterystycznych dla danego dystansu i stylu pływackiego. Dzięki tym obserwacjom zaczęto formułować tzw. modele referencyjne, czyli uśrednione profile tempa, które zawodnicy i trenerzy mogli wykorzystywać jako punkt odniesienia w planowaniu startu i struktury wysiłku. Pomimo rosnącego zainteresowania personalizacją strategii, niewiele prac naukowych wskazuje na wysoką skuteczność stałych schematów

pacingu, zwłaszcza na poziomie mistrzowskim. Analiza danych z mistrzostw świata czy igrzysk olimpijskich pokazuje, że najlepsi zawodnicy w danej konkurencji często realizują bardzo zbliżone profile tempa, co sugeruje, że istnieje wzorzec optymalny dla konkretnego dystansu. To podejście jest podstawą niniejszej pracy – zakłada, że dla stylu dowolnego na danym dystansie możliwe jest wyodrębnienie uniwersalnego modelu tempa, który może być skutecznie stosowany niezależnie od indywidualnych cech zawodnika.

2.3. Rola pacingu w optymalizacji wyników sportowych

Pacing odgrywa kluczową rolę w osiąganiu maksymalnych rezultatów w wyścigach pływackich, ponieważ bezpośrednio wpływa na wykorzystanie zasobów energetycznych, zachowanie efektywnej techniki oraz zdolność do przyspieszenia w końcowej fazie dystansu. Niezależnie od stylu czy długości dystansu, umiejętność kontrolowanego rozłożenia tempa pozwala na zminimalizowanie efektu przedwczesnego zmęczenia oraz zwiększenie ekonomii ruchu. W praktyce sportowej wielokrotnie udowodniono, że niewłaściwe tempo – zbyt szybki początek lub nieadekwatne przyspieszenie – skutkuje pogorszeniem mechaniki ruchu, zaburzeniem rytmu oddechowego, wzrostem oporu hydrodynamicznego i gwałtownym spadkiem prędkości na ostatnich odcinkach dystansu. Z kolei dobrze zaplanowany i konsekwentnie realizowany schemat rozkładu tempa pozwala utrzymać stabilną długość kroku pływackiego, efektywny chwyt wody oraz rytmiczną pracę nóg i tułowia.

Dane z analiz międzyczasów czołowych zawodników wskazują, że na najwyższym poziomie wyczynowym nie występuje duża zmienność indywidualnych strategii pacingowych (Lara & Del Coso, 2021; Skorski, 2015). Wręcz przeciwnie – zawodnicy osiągający najlepsze rezultaty często realizują bardzo podobny profil tempa w obrębie danego dystansu i stylu (Hołub i in., 2023). Sugeruje to, że istnieją sprawdzone, uniwersalne schematy, które zapewniają optymalne wykorzystanie fizjologicznych możliwości organizmu i minimalizują ryzyko załamania tempa. Z tego powodu pacing nie powinien być traktowany jedynie jako efekt indywidualnych preferencji zawodnika, lecz jako element o charakterze strukturalnym – możliwy do zaplanowania, zmierzenia i odwzorowania w modelu treningowym. Wprowadzenie stałych wzorców tempa w treningu nie tylko zwiększa kontrolę nad przygotowaniem startowym, ale też pozwala budować precyzyjne oczekiwania taktyczne i psychiczne przed wyścigiem. Dla zawodników i trenerów oznacza to możliwość monitorowania postępu oraz porównywania aktualnej dyspozycji względem wzorca

referencyjnego. W kontekście optymalizacji wyniku sportowego pacing nie jest więc jedynie techniką regulacji intensywności, ale staje się integralnym elementem strategii startowej – opartym na danych, sprawdzonym schemacie i możliwym do zaprogramowania na poziomie treningu, analizy i realizacji startu.

2.4. Przykłady zastosowania pacingu w innych dyscyplinach sportowych

Choć pacing kojarzony jest przede wszystkim z pływaniem i biegami średnio- oraz długodystansowymi, znajduje on szerokie zastosowanie także w wielu innych dyscyplinach wytrzymałościowych. Wspólnym mianownikiem jest konieczność efektywnego zarządzania intensywnością wysiłku w czasie trwania konkurencji, co wpływa bezpośrednio na wynik sportowy oraz na zdolność do utrzymania techniki i rytmu przez cały dystans.

W lekkoatletyce pacing odgrywa kluczową rolę w kształtowaniu wyniku sportowego. W przeciwieństwie do pływania strategia tempa w biegach może być w większym stopniu modyfikowana przez charakter rywalizacji bezpośredniej (z wyjątkiem sprintów rozgrywanych na torach indywidualnych) oraz przez czynniki środowiskowe, takie jak nawierzchnia czy warunki atmosferyczne (Hettinga i in., 2017; Smits i in., 2014). Obserwacje z zawodów światowej klasy wskazują, że elitarni biegacze realizują wcześniej założone strategie tempa już od początkowych faz wyścigu, a ich zachowania taktyczne są ściśle powiązane z dynamiką grupy oraz kontekstem rywalizacji (Casado i in., 2021). W konkurencjach długodystansowych często obserwuje się względnie równomierne tempo biegu, sprzyjające optymalizacji wydolności i efektywności energetycznej. Z kolei w sprintach (100 – 400 metrów) dominuje strategia charakteryzująca się bardzo wysoką intensywnością od początku dystansu. Jednocześnie, ze względu na dużą liczbę zmiennych wpływających na przebieg rywalizacji, trudno wskazać jedną uniwersalną, optymalną strategię tempa odpowiednią dla wszystkich zawodników (Pryor i in., 2020).

W kolarstwie torowym strategia tempa stanowi kluczowy element determinujący wynik sportowy, szczególnie w konkurencjach indywidualnych rozgrywanych na czas. Analizy wyścigów mistrzowskich wskazują, że elitarni zawodnicy stosują charakterystyczny, kontrolowany profil tempa, obejmujący fazę początkowej akceleracji, po której następuje stopniowe obniżanie prędkości w dalszej części dystansu (Corbett, 2009). Taki dodatni rozkład tempa wymaga precyzyjnego zarządzania intensywnością wysiłku, ponieważ nadmiernie

szybki początek może prowadzić do przedwczesnego zmęczenia i pogorszenia wyniku końcowego. W dłuższych konkurencjach torowych szczególnego znaczenia nabiera zdolność do utrzymania możliwie stabilnego profilu tempa, co wskazuje na istotną rolę kontroli energetycznej i tolerancji zmęczenia w końcowej fazie wyścigu (Corbett, 2009). Strategia pacingu w kolarstwie torowym jest zatem wynikiem kompromisu między maksymalizacją prędkości początkowej a utrzymaniem efektywności mechanicznej i metabolicznej na całym dystansie.

W łyżwiarstwie szybkim, na dystansach równych lub powyżej 1000 metrów, tempo poszczególnych okrążeń podlega bardzo precyzyjnej analizie czasowej. Pacing w tej dyscyplinie musi uwzględniać zarówno opór powietrza, jak i dynamikę ślizgu oraz przejść w zakręty. Zawodnicy często rozpoczynają dystans z dużą dynamiką, po czym przechodzą do kontrolowanego, równomiernego tempa, by móc w końcowych okrążeniach przyspieszyć bez utraty techniki. W przypadku średniego dystansu 1500 metrów kluczowe znaczenie ma unikanie zbyt szybkiego początku oraz odpowiednie rozłożenie sił tak, aby w końcowej fazie wyścigu osiągnąć możliwie najwyższą prędkość. Badania wskazują, że to właśnie prędkość rozwijana w ostatniej części dystansu silniej koreluje z wynikiem końcowym niż tempo początkowe (Muehlbauer i in., 2010). Na długich dystansach klasycznie obserwuje się natomiast pozytywny rozkład tempa, w którym prędkość stopniowo spada wraz z kolejnymi okrążeniami. Zjawisko to jest bardziej wyraźne na dystansach 3000 i 5000 m, a w mniejszym stopniu, choć nadal obecne, na 10 000 metrów (Muehlbauer i in., 2010)

Również w triathlonie (Wu i in., 2014) czy biegach górskich (Hoffman, 2014) pacing odgrywa istotną rolę, chociaż przyjmuje bardziej elastyczne formy – dostosowane do zmiennych warunków terenowych, długości trasy czy profilu wysokościowego. Niezależnie od dyscypliny, zasada pozostaje niezmienna: umiejętność utrzymania odpowiedniego tempa w kluczowych momentach wyścigu stanowi jeden z najważniejszych elementów strategii startowej, a jego skuteczne wdrożenie odróżnia zawodników czołowych od tych, którzy mimo wysokiego poziomu fizycznego, nie potrafią efektywnie zarządzać wysiłkiem.

2.5. Schematy pacingu w pływaniu

W wyścigach pływackich wyróżnia się kilka klasycznych modeli rozkładu tempa (pacingu), opisujących sposób zarządzania intensywnością wysiłku na dystansie. Każdy ze schematów

charakteryzuje się innym profilem prędkości i jest dobierany w zależności od dystansu, stylu, charakterystyki zawodnika oraz założeń taktycznych.

Strategia pozytywna (positive pacing)

Polega na rozpoczęciu wyścigu z wysoką intensywnością, często wyższą niż tempo docelowe, po czym następuje stopniowe spowolnienie w kolejnych fragmentach dystansu (Thompson i in., 2000). W praktyce oznacza to, że zawodnik świadomie „inwestuje" zasoby energetyczne na początku rywalizacji, uzyskując przewagę czasową, która następnie ulega częściowej redukcji wraz z narastaniem zmęczenia. Taki rozkład tempa może być efektem zarówno celowego działania (np. chęci zbudowania zapasu, zajęcia korzystnej pozycji), jak i konsekwencją ograniczeń fizjologicznych, ponieważ utrzymanie prędkości z pierwszej fazy bywa niemożliwe w dalszej części wyścigu. Model ten spotykany jest często w sprintach, gdzie krótki czas trwania wysiłku sprzyja agresywnemu otwarciu (Dormehl & Osborough, 2015; Nikolaidis & Knechtle, 2017), ale może też pojawić się niezamierzenie u zawodników z niewystarczającym przygotowaniem tlenowym lub zbyt dużą skłonnością do „przestrzelenia" intensywności na starcie. W takim przypadku positive pacing ma charakter nieoptymalny, ponieważ prowadzi do nadmiernej utraty prędkości w końcówce i pogorszenia wyniku.

Strategia negatywna (negative pacing)

Opiera się na odwrotnym podejściu w relacji do strategii pozytywnej – zawodnik rozpoczyna wyścig z umiarkowanym tempem, by stopniowo zwiększać prędkość w kolejnych segmentach dystansu. Celem jest ograniczenie kosztu energetycznego w początkowej fazie i przesunięcie większej części intensywności na późniejszy etap rywalizacji, kiedy znaczenie ma zdolność do utrzymania prędkości mimo narastającego zmęczenia (Thompson i in., 2003). Dzięki temu zawodnik unika szybkiego wyczerpania zasobów, lepiej kontroluje rytm pracy i ma większe prawdopodobieństwo wykonania skutecznego finiszu (Abbiss & Laursen, 2005; Sandals i in ., 2006). Strategia ta występuje najczęściej na dystansach średnich i długich, gdzie czas trwania wysiłku sprzyja planowaniu intensyfikacji w drugiej części wyścigu. W praktyce negative pacing wymaga dobrego „wyczucia" tempa docelowego, doświadczenia startowego oraz umiejętności podejmowania decyzji o rozpoczęciu przyspieszenia w odpowiednim momencie.

Strategia paraboliczna (parabolic pacing)

Obejmuje trzy fazy: dynamiczne rozpoczęcie, spowolnienie w środkowej części dystansu oraz ponowne przyspieszenie na finiszu. Profil tempa przypomina wykres w kształcie litery „U" – najszybsze odcinki pojawiają się na początku i na końcu, natomiast część środkowa ma charakter bardziej kontrolowany (Mauger i in., 2012; Mytton i in., 2015). Taki model jest typowy dla wyścigów, w których zawodnik celowo „odpuszcza" środek dystansu, aby ograniczyć koszty zmęczeniowe i zachować możliwość wzrostu intensywności w końcówce. Parabolic pacing nie oznacza jednak rezygnacji z walki w środkowej fazie, lecz raczej utrzymanie tempa na poziomie umożliwiającym zachowanie ekonomii pływania i stabilnej techniki. Strategia ta bywa obserwowana na dystansach dłuższych, gdzie rośnie znaczenie zarządzania energią, ale jej elementy mogą pojawiać się również na dystansach średnich – zwłaszcza w warunkach rywalizacji wymagającej sprintu w końcowych metrach.

Strategia J-kształtna (J-shaped pacing)

To wariant strategii rozkładu tempa, w którym zawodnik rozpoczyna wyścig z wysoką intensywnością, po czym następuje spadek prędkości i jej późniejsza stabilizacja na względnie równym poziomie. W przeciwieństwie do klasycznego modelu „U", w którym akcentowana jest zarówno szybka faza początkowa, jak i końcowa, w modelu „J" kluczowe znaczenie ma szybkie otwarcie oraz kontrolowane utrzymanie tempa po początkowym spadku (Tucker i in., 2004). Oznacza to, że wynik budowany jest przede wszystkim poprzez uzyskanie przewagi w pierwszej części dystansu, a następnie ograniczanie dalszej utraty prędkości w kolejnych jego fragmentach. Model ten wymaga bardzo dobrej kontroli intensywności po szybkim rozpoczęciu wyścigu, ponieważ zbyt gwałtowny spadek tempa może prowadzić do utraty korzyści uzyskanych w fazie początkowej. W tym ujęciu strategia „J-shaped" nie oznacza końcowego przyspieszenia po równym przebiegu wyścigu, lecz szybkie rozpoczęcie, następujące po nim obniżenie prędkości oraz jej względną stabilizację w dalszej części dystansu.

Strategia równego tempa (even pacing)

Zakłada utrzymanie stabilnej prędkości przez niemal cały dystans, z wyjątkiem naturalnego przyspieszenia w fazie początkowej wynikającego ze startu. Po uzyskaniu prędkości docelowej zawodnik dąży do jej podtrzymania do samego końca, minimalizując wahania tempa pomiędzy kolejnymi odcinkami (Padilla i in., 2000). Jest to jedna z najbardziej efektywnych

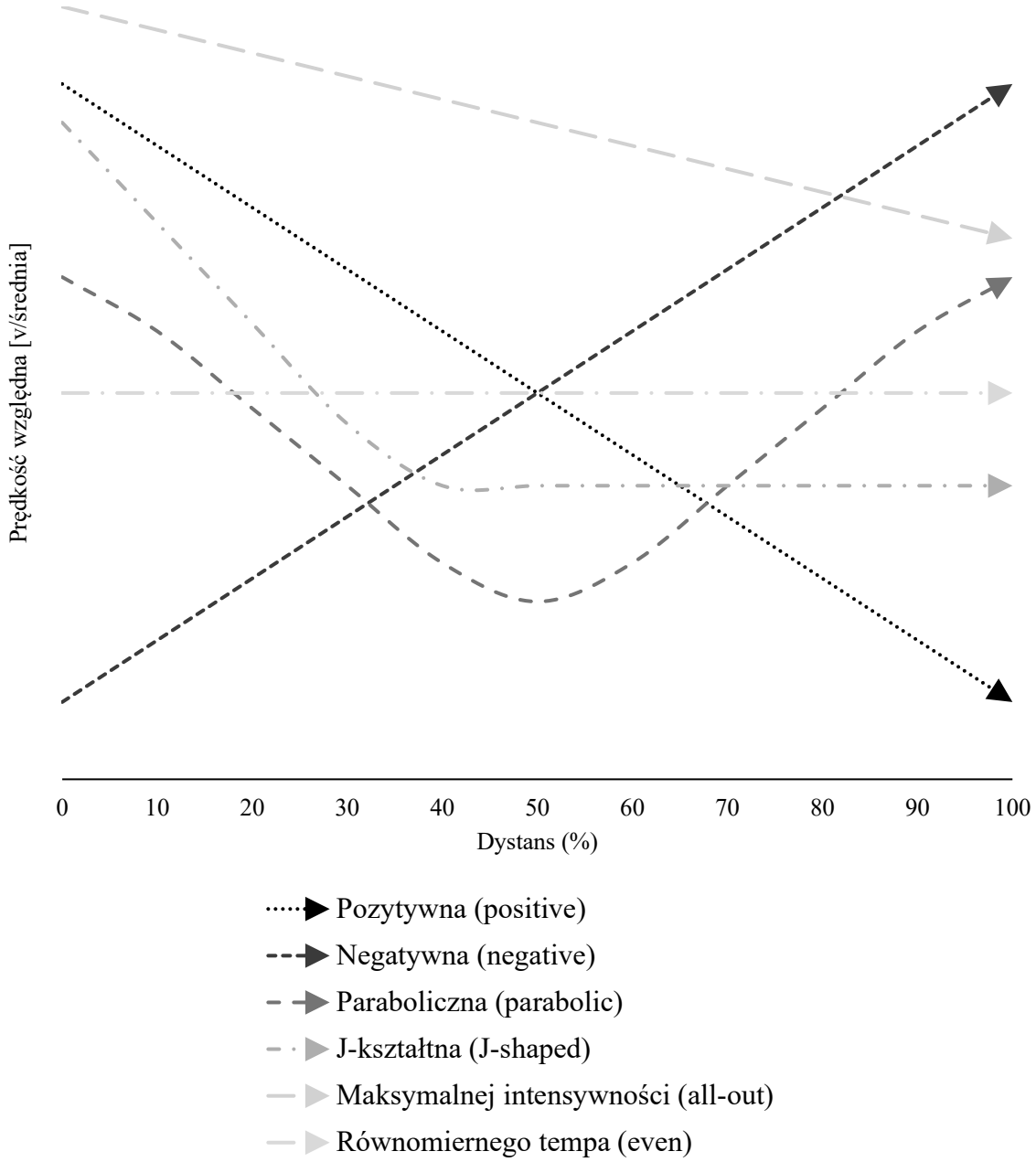
energetycznie strategii, ponieważ ogranicza koszt częstych zmian prędkości i pozwala na utrzymanie stałego rytmu pracy oraz stabilnej techniki. Even pacing jest szczególnie korzystne w konkurencjach, w których warunki rywalizacji są względnie przewidywalne, a zawodnik potrafi dobrze ocenić intensywność możliwą do utrzymania przez cały wyścig. W praktyce strategia ta bywa traktowana jako punkt odniesienia do oceny odchyleń tempa: im mniejsze fluktuacje w środkowej części dystansu, tym większe prawdopodobieństwo racjonalnej dystrybucji wysiłku.

Strategia totalna (all-out pacing)

Polega na wykonaniu maksymalnego wysiłku od startu do mety. Zawodnik rozpoczyna wyścig z pełną intensywnością, osiągając szczytową prędkość w pierwszych sekundach i podejmuje próbę utrzymania jej możliwie jak najdłużej (Bishop i in., 2002). W praktyce profil tempa zwykle nie jest całkowicie stały – nawet przy strategii all-out dochodzi do spadku prędkości w kolejnych odcinkach, ale intencją zawodnika jest brak świadomej „rezerwy" na późniejsze fazy. Strategia ta stosowana jest niemal wyłącznie w sprintach, gdzie krótki czas trwania wysiłku ogranicza znaczenie długotrwałej kontroli tempa. All-out pacing wymaga wysokiej tolerancji narastającego zmęczenia oraz zdolności do utrzymania efektywności technicznej przy bardzo dużej intensywności, szczególnie w końcowej części wyścigu.

Strategia zmienna (variable pacing)

Charakteryzuje się niejednorodnym rozkładem prędkości – zawodnik celowo wprowadza zmiany tempa w różnych częściach dystansu (Atkinson i in., 2007; Atkinson & Brunskill, 2000). W pływaniu basenowym może to wynikać z taktyki: przyspieszenie po nawrocie, próba „oderwania się" od rywali, odpowiedź na atak zawodnika na sąsiednim torze lub świadome zwiększenie tempa w określonym segmencie (np. na przedostatniej długości). Taka strategia może być efektywna, gdy zawodnik potrafi kontrolować koszt energetyczny zmian prędkości i gdy zmienność tempa ma uzasadnienie sytuacyjne. W pływaniu na wodach otwartych variable pacing jest jeszcze częstsze, ponieważ na rozkład prędkości silnie wpływają warunki zewnętrzne: prądy, fale, zmiany kierunku, kontakt w grupie czy taktyka „draftingu". W tym środowisku zmienność tempa bywa konieczna, a skuteczność zawodnika zależy od zdolności adaptacji do zmieniających się warunków bez nadmiernego „przepalania" energii.



Wykres 1. Schematyczne przedstawienie podstawowych strategii tempa w sporcie. Wartości przedstawiono jako względną prędkość w funkcji procentu dystansu.

3. Problem badawczy w świetle piśmiennictwa

3.1. Badania dotyczące rozkładu tempa w pływaniu różnymi stylami

Badania nad strategią tempa w pływaniu sportowym pokazują, że charakter zmian prędkości w kolejnych fazach wyścigu jest zróżnicowany w zależności od stylu pływackiego. W przypadku stylu klasycznego dostępna literatura jest stosunkowo ograniczona, jednak badania podkreślają wyraźnie utrwalony schemat taktyki wyścigowej w tej konkurencji. Jak zauważają Nicol i in. (2022), zarówno na dystansach 100, jak i 200 metrowych powszechnie obserwuje się tzw. pozytywny profil tempa, polegający na sukcesywnym spadku prędkości wraz z kolejnymi odcinkami. Zjawisko to występuje niezależnie od płci zawodników oraz etapu zawodów (eliminacje vs. finały). Styl klasyczny wyróżnia się na tle pozostałych konkurencji pływackich dużą zmiennością międzyczasów i relatywnie silnym spadkiem prędkości w trakcie wyścigu. W pierwszej części dystansu zawodnicy często utrzymują niższą częstotliwość cyklu ruchowego (stroke rate), opierając się na dłuższym i bardziej efektywnym cyklu pływackim. W miarę narastania zmęczenia dochodzi zwykle do skrócenia długości cyklu, czemu może towarzyszyć wzrost jego częstotliwości. Taka zmiana organizacji ruchu wskazuje na próbę kompensacji spadku efektywności i może wiązać się z obniżeniem tempa w końcowej fazie wyścigu.

Styl motylkowy, podobnie jak klasyczny, charakteryzuje się specyficznym rozkładem tempa, jednak przebieg tego rozkładu wykazuje pewne różnice. W obu konkurencjach obserwuje się tendencję do obniżania prędkości w dalszych częściach wyścigu, co wskazuje na dominację strategii pozytywnego tempa. W przypadku motylka istotnym elementem jest jednak bardzo wysoki poziom intensywności w początkowej fazie rywalizacji, co przejawia się w relatywnie szybkim tempie już na pierwszych 100 metrach. Analiza przeprowadzona podczas igrzysk olimpijskich w Tokio w 2021 roku wykazała, że u mężczyzn zakwalifikowanych do finału kluczową przewagę nad pozostałymi zawodnikami stanowił odcinek 50–100 m, w którym osiągali oni wyraźnie szybsze czasy oraz wyższą średnią prędkość (Leite Silva i in., 2022).

W stylu grzbietowym zawodnicy zwykle osiągają wysoką prędkość na początku dystansu, jednak bez tak wyraźnego efektu przyspieszenia startowego jak w stylu dowolnym, ze względu na start z wody (De Jesus i in., 2014). Dalszy przebieg wyścigu cechuje się raczej

równomiernym tempem, choć istotne są różnice indywidualne, szczególnie w zakresie wykorzystania fazy podwodnej i nawrotów.

Styl zmienny stanowi osobną kategorię, ze względu na konieczność połączenia czterech różnych technik w jednym wyścigu. Zawodnicy często przyjmują bardziej zachowawcze tempo na początku, zwłaszcza w stylu motylkowym, by zachować energię na kolejne odcinki. Znaczenie poszczególnych stylów w kontekście wyniku końcowego różni się w zależności od dystansu oraz indywidualnych predyspozycji zawodnika. Kluczowe znaczenie ma tu umiejętność płynnego przechodzenia między stylami oraz utrzymania techniki w warunkach narastającego zmęczenia.

3.2. Metodologie analizy tempa pływania

Analiza tempa pływania stanowi jeden z kluczowych obszarów w ocenie efektywności startów wyczynowych i planowaniu strategii wyścigowej. Pacing to nie tylko prędkość poruszania się zawodnika w danym momencie, lecz także sposób jej rozkładu w czasie trwania wyścigu. Metodologie analizy pacingu koncentrują się na ocenie wzorców prędkości, ich zmienności, a także ich zależności względem długości dystansu, poziomu wytrenowania i rodzaju konkurencji. Precyzyjne zrozumienie struktury tempa umożliwia dostosowanie strategii startowej do indywidualnych możliwości zawodnika, charakterystyki wysiłku oraz specyfiki rywalizacji.

W badaniach nad pacingiem wyróżnia się kilka głównych podejść metodologicznych. Jedną z najczęściej stosowanych metod jest analiza rozkładu prędkości na poszczególnych odcinkach dystansu, najczęściej 50-metrowych lub 25-metrowych. Pozwala to na identyfikację klasycznych profili tempa, takich jak strategia pozytywna, negatywna, paraboliczna czy równomierna. McGibbon i in. (2018) w systematycznym przeglądzie badań nad pacingiem pływaków wykazali, że strategia pozytywna jest dominująca w większości konkurencji olimpijskich, co wynika z kombinacji czynników biomechanicznych, fizjologicznych i psychologicznych. Inną metodą stosowaną w analizie pacingu jest ocena jego powtarzalności (pacing reproducibility) u tego samego zawodnika w różnych próbach. Skorski i in. (2014) badali powtarzalność strategii tempa w grupie pływaków wyczynowych, dochodząc do wniosku, że wyższy poziom doświadczenia koreluje z większą stabilnością tempa między kolejnymi startami, co może świadczyć o lepszej kontroli wysiłku i wyższym poziomie

autoregulacji. Do bardziej zaawansowanych metod należy również analiza zmienności tempa z wykorzystaniem narzędzi statystycznych, takich jak współczynnik zmienności (CV – coefficient of variation), który umożliwia ocenę precyzji utrzymywania prędkości w ramach jednego wyścigu. Zawodnicy osiągający najwyższe wyniki cechują się niższym CV, co może świadczyć o lepszym zarządzaniu intensywnością wysiłku w czasie.

Oprócz analizy samego rozkładu prędkości, coraz większe znaczenie zyskują metody oceniające decyzje pacingowe w kontekście rywalizacji bezpośredniej, zwłaszcza w wyścigach torowych (lane-based head-to-head competitions). Menting i in. (2019) wskazali, że obecność przeciwników wpływa na modyfikację strategii tempa – zawodnicy są bardziej skłonni do chwilowego przyspieszania lub zwalniania w odpowiedzi na działania rywali, co odzwierciedla złożoność pacingu jako procesu nie tylko fizjologicznego, ale i taktycznego. Ciekawe wyniki przyniosła również analiza tempa w kontekście decyzji strategicznych na poziomie indywidualnym. Mauger i in., (2012) badali sposób wyboru strategii tempa w konkurencji 400 metrów stylem dowolnym u pływaków elity. Zidentyfikowano wyraźne różnice w sposobie rozkładania tempa między zawodnikami, przy czym lepsi sportowcy wykazywali większą spójność i przewidywalność swoich profili pacingowych. Ich decyzje opierały się nie tylko na doświadczeniu startowym, ale także na subiektywnej ocenie poziomu wysiłku i własnych możliwości fizjologicznych (Mauger i in., 2012).

Na tle innych sportów wytrzymałościowych, pływanie charakteryzuje się unikalnymi wyzwaniami biomechanicznymi i środowiskowymi, które również wpływają na wybór i ocenę strategii tempa. Demarie i in. (2023) porównując profile pacingowe w pływaniu podkreślili, że opór wody, brak swobodnej regulacji rytmu oddechowego oraz techniczny charakter ruchu sprawiają, że pływacy muszą wykazywać się wyjątkową precyzją i świadomością własnych możliwości, by utrzymać tempo na optymalnym poziomie. Warto również podkreślić znaczenie technologii w analizie tempa. Coraz częściej wykorzystywane są systemy wideo, czujniki inercyjne (IMU), systemy GPS w treningach w wodach otwartych oraz oprogramowanie biomechaniczne, umożliwiające analizę cyklu pływackiego w czasie rzeczywistym. Umożliwia to nie tylko dokładną ocenę rozkładu tempa, ale również jego związków z biomechaniką, techniką oraz odpowiedziami fizjologicznymi, co czyni analizę pacingu narzędziem o wieloaspektowym zastosowaniu w treningu i planowaniu startowym.

3.3. Przegląd stosowanych metod statystycznych i analitycznych

Do analizy tempa pływania stosuje się szereg metod statystycznych i narzędzi analitycznych umożliwiających dokładne scharakteryzowanie strategii, porównania międzygrupowe i ocenę efektywności treningowej:

- modele regresji służą do opisu przebiegu tempa w funkcji czasu lub numeru długości dystansu (Lipińska i in., 2016);
- algorytmy klasyfikacyjne umożliwiają automatyczne przypisanie strategii tempa do jednej z ustalonych kategorii, co znalazło zastosowanie w analizie elity światowej (Taylor i in., 2016)
- analiza wariancji (ANOVA) i testy porównań wielokrotnych (post hoc) stosowane są do porównań tempa pomiędzy różnymi grupami zawodników, stylami oraz długościami dystansów (Saavedra i in., 2012);
- hierarchiczne modele liniowe (HLM) pozwalają na ocenę wpływu zmiennych biomechanicznych na tempo netto pływania i wyniki startowe (Morais i in., 2023);
- wskaźniki powtarzalności (korelacje wewnątrzklasowe - ICC, błąd standardowy - SEM, wskaźnik zmienności - CV) stosowane są do analizy stabilności profilu tempa w testach i startach rzeczywistych (Skorski i in., 2014)
- analiza porównawcza protokołów treningowych pozwala ocenić wpływ różnych form treningu na tempo, poziom zmęczenia i zdolność do utrzymania intensywności. Przykładem może być badanie nad USRPT w porównaniu do tradycyjnego HIIT (Papadimitriou, 2024)
- nowoczesne technologie wearable umożliwiają automatyczne monitorowanie parametrów tempa (np. SWOLF, stroke count) w czasie rzeczywistym, co znajduje zastosowanie w planowaniu treningu i analizie postępów (Morais i in., 2022)

3.4. Nowoczesne technologie w analizie tempa

Postęp technologiczny znacząco wpłynął na możliwości analizy tempa pływania, dostarczając narzędzi pozwalających na jego ocenę z dużą precyzją, powtarzalnością i automatyzacją. Współczesne badania oraz praktyka sportowa wykorzystują głównie dwie grupy narzędzi: systemy analizy wideo oraz czujniki biomechaniczne (takie jak czujniki inercyjne, optoelektroniczne i ciśnieniowe). Niemniej jednak, w kontekście pływania wyczynowego oraz

niniejszej pracy, najistotniejszym elementem pozostaje system pomiaru czasu, który umożliwia precyzyjny pomiar do 0,01 sekundy, a także automatyczne wyświetlanie wyników na tablicy elektronicznej oraz ich zapis w oficjalnych protokołach zawodów. Tego rodzaju pomiary są podstawą do analizy tempa na poziomie profesjonalnym, ponieważ pozwalają na ocenę każdego odcinka dystansu z dokładnością wymaganą w rywalizacji sportowej oraz badaniach naukowych. Ich niezawodność i standaryzacja (np. systemy Omega, Colorado Timing) zapewniają możliwość obiektywnego porównywania danych w czasie i między zawodnikami.

Systemy analizy wideo wspierają analizę techniki i dynamiki tempa, pozwalając na szczegółowe śledzenie pozycji ciała, długości cyklu, częstotliwości ruchów czy zachowania prędkości w nawrotach. Umożliwiają także synchronizację z innymi sensorami oraz ocenę momentów kluczowych – startu, nawrotu, finiszu – pod kątem biomechanicznym. Czujniki inercyjne (IMU), umieszczone na nadgarstku, tułowiu lub biodrze, rejestrują dane dotyczące przyspieszenia, rotacji i trajektorii ruchu, pozwalając na rejestrację tempa w ujęciu mikrosekwencyjnym – zarówno podczas odcinków pływanych „czysto", jak i tych obejmujących nawroty. Parametry takie jak tempo netto (clean swim velocity), indeks efektywności (SWOLF), czy zmienność długości cyklu mogą być monitorowane w czasie rzeczywistym.

Nowoczesne systemy noszone na nadgarstku mogą w czasie rzeczywistym rejestrować wybrane parametry pływania, takie jak liczba długości, liczba ruchów, prędkość na długość, dystans czy wskaźnik SWOLF, a także automatycznie rozpoznawać styl pływacki (Delgado-Gonzalo i in., 2016). Natomiast analiza parametrów realizacji serii treningowych pozwala identyfikować odchylenia od tempa docelowego oraz objawy narastającego zmęczenia, przejawiające się m.in. wzrostem liczby ruchów przy pogorszeniu czasu w końcowych powtórzeniach (Cuenca-Fernández i in., 2023). W połączeniu z oficjalnymi pomiarami czasu, nowoczesne technologie dają pełny obraz profilu tempa pływaka: od zapisu każdej długości z dokładnością do setnej sekundy, przez analizę cyklu ruchowego, aż po ocenę strategii startowej i finiszu. Ich integracja pozwala na personalizację treningu oraz prowadzenie badań naukowych o wysokiej wiarygodności i wartości aplikacyjnej.

3.5. Wpływ czynników biomechanicznych, fizjologicznych i psychologicznych na pacing

Pacing w pływaniu wyczynowym stanowi efekt złożonego współdziałania czynników biomechanicznych, fizjologicznych oraz psychologicznych. Skuteczna dystrybucja tempa w wyścigu wymaga nie tylko optymalizacji zdolności motorycznych, ale także precyzyjnego zarządzania percepcją wysiłku oraz procesami regulacyjnymi, które umożliwiają adaptację do zmieniających się warunków wyścigu.

Czynniki biomechaniczne

Zmienność strategii pacingu pomiędzy zawodnikami o porównywalnym poziomie sportowym może wynikać z różnic w parametrach technicznych, takich jak długość cyklu pływackiego, rytm pracy nóg czy ekonomia ruchu. Elementy te determinują wydajność mechaniczną i efektywność napędu w środowisku wodnym, co przekłada się na zdolność do utrzymania stałego tempa lub jego modulacji w kluczowych momentach wyścigu (McGibbon i in., 2021; Ruiz-Navarro i in., 2025).

Czynniki fizjologiczne

Do istotnych fizjologicznych uwarunkowań strategii rozkładu tempa w pływaniu należą wydolność tlenowa i beztlenowa, sprawność układu krążeniowo-oddechowego oraz zdolność do wielokrotnego podejmowania wysiłków o wysokiej intensywności (McGibbon i in., 2018; Smith i in., 2002). Poziom tych zdolności wpływa na możliwość utrzymania założonego tempa na całym dystansie albo zastosowania strategii polegającej na przyspieszeniu w końcowej fazie wyścigu, jak ma to miejsce w modelu negative pacing (Thompson i in., 2003, 2004). Znaczenie mają również indywidualne różnice w tolerancji zmęczenia i akumulacji produktów przemian metabolicznych, w tym mleczanu, ponieważ warunkują one zarówno wybór strategii pacingowej, jak i skuteczność jej realizacji w warunkach startowych (Skorski & Abbiss, 2017; Tucker & Noakes, 2009).

Czynniki psychologiczne

Aspekty psychologiczne, zwłaszcza umiejętność samoregulacji, kontrola uwagi oraz subiektywna ocena wysiłku (RPE, rating of perceived exertion), odgrywają istotną rolę w kształtowaniu strategii pacingowej. W trakcie wyścigu pływacy na bieżąco dostosowują tempo do odczuć związanych z narastającym wysiłkiem, realizacją celu startowego oraz

sytuacją rywalizacyjną. Zdolność do utrzymania założonej strategii mimo zmęczenia oraz wpływu obecności przeciwników stanowi ważny element skutecznego pacingu (Elferink-Gemser & Hettinga, 2017; Foster i in., 2023; McCormick i in., 2019).

3.6. Wydolność fizyczna jako determinanta strategii tempa.

Wydolność fizyczna stanowi jedną z kluczowych determinant skutecznego zarządzania tempem w pływaniu wyczynowym (McGibbon i in., 2018; Smith i in., 2002). Z punktu widzenia realizacji strategii pacingowej szczególne znaczenie mają takie wskaźniki, jak VO_2max, próg mleczanowy, zdolność do wysiłku w pobliżu maksymalnego stanu równowagi mleczanowej oraz poziom rozwinięcia komponentu beztlenowego (Fernandes & Vilas-Boas, 2012; Pelarigo i in., 2017, 2018). Im wyższy poziom tych adaptacji, tym większa możliwość utrzymania intensywności w zakresie zapewniającym wysoką efektywność pracy przy jednoczesnym ograniczeniu tempa narastania zmęczenia metabolicznego. W praktyce oznacza to większą precyzję w kontroli tempa oraz lepsze dostosowanie strategii wyścigu do wymagań konkretnego dystansu (Fernandes i in., 2024; López-Belmonte i in., 2025)

Metabolizm tlenowy odgrywa kluczową rolę w pływaniu na średnich i długich dystansach. Zdolność zawodnika do pracy na intensywnościach submaksymalnych, w pobliżu progu mleczanowego, sprzyja utrzymaniu względnie stałego tempa oraz efektywnemu gospodarowaniu zasobami energetycznymi. Badania wykazały, że prędkość odpowiadająca maksymalnemu stanowi równowagi mleczanowej (MLSSW) jest istotnie związana z prędkością wyścigową i poziomem wykonania, szczególnie u pływaków specjalizujących się w konkurencjach 800 i 1500 metrów (Hering & Stepan, 2021). Sezonowe monitorowanie parametrów progowych u pływaków światowej klasy wskazuje, że zmiany prędkości na progu mleczanowym i tolerancji mleczanowej odzwierciedlają zmiany wytrzymałości w toku przygotowań treningowych, co potwierdza przydatność tych wskaźników w kontroli treningu (Pyne i in., 2001). Próg mleczanowy (LT) stanowi jeden z ważnych wskaźników wydolności wytrzymałościowej. U światowej klasy i elitarnych pływaków open-water wykazano, że prędkość pływania odpowiadająca LT osiągała około 97% maksymalnej prędkości uzyskanej w teście progresywnym, co wskazuje na bardzo wysoki poziom adaptacji tlenowych (López-Belmonte i in., 2025). Warto również zaznaczyć, że wybrane parametry biomechaniczne cyklu pływackiego, takie jak długość cyklu, częstotliwość ruchów i stroke index, mogą służyć jako pośrednie, nieinwazyjne wskaźniki przydatne w szacowaniu zdolności

tlenowych i prędkości zbliżonej do maksymalnego stanu równowagi mleczanowej, choć przy wysokich wymaganiach precyzji SMLSS powinien być określany bezpośrednio (Oliveira i in., 2012).

Wydolność beztlenowa odgrywa szczególnie istotną rolę w końcowych fazach wyścigu oraz w konkurencjach sprinterskich, w których wysoka intensywność wysiłku wymusza większy udział szybkich szlaków energetycznych. Zdolność do intensywnego finiszu, nagłego przyspieszenia lub odpowiedzi na ruch rywali wiąże się z możliwością wykorzystania rezerw beztlenowych oraz z szybkim odtwarzaniem ATP z udziałem fosfokreatyny i glikolizy beztlenowej (Campos i in., 2017). W pływaniu długodystansowym wykazano, że bardziej wyraźny finisz (end-spurt) częściej obserwuje się u zawodników osiągających lepsze miejsca, co wskazuje na znaczenie zdolności do mobilizacji rezerw energetycznych w końcowej części wyścigu (Neuloh i in., 2021). Należy jednak pamiętać, że nadmierne eksponowanie treningu beztlenowego bez równoległego rozwijania komponentu tlenowego może prowadzić do pogorszenia zdolności do długotrwałego utrzymywania wysokiej intensywności i destabilizacji pacingu, szczególnie w konkurencjach długodystansowych.

W literaturze podkreśla się znaczenie właściwego doboru metod oceny progu mleczanowego oraz intensywności treningowych. W porównaniu różnych metod oceny wydolności tlenowej u pływaków wykazano, że intensywności wyznaczane na podstawie MLSS, indywidualnego progu beztlenowego (IAnT), progu wentylacyjnego (VT) oraz progu tętna (HRT) są do siebie zbliżone, natomiast metoda oparta na stałym stężeniu mleczanu 3.5 $mmol \cdot l^{-1}$ prowadzi do wyższych oszacowań intensywności, co sugeruje mniejszą trafność tego podejścia w odwzorowaniu obciążeń okołoprogowych (Pelarigo i in., 2018). Analizy wykorzystujące odmienne protokoły testowe wskazują również, że wartości progu mogą różnić się w zależności od długości odcinków i zastosowanej procedury, co przemawia za koniecznością indywidualizacji diagnostyki oraz dostosowania testu do specyfiki zawodnika i konkurencji (Fernandes i in., 2011; Holfelder i in., 2013; Nikitakis & Toubekis, 2021). Dostępne badania sugerują ponadto, że skuteczne zarządzanie tempem w pływaniu opiera się na współdziałaniu komponentów tlenowych i beztlenowych, dlatego planowanie przygotowania kondycyjnego powinno uwzględniać rozwój obu systemów energetycznych oraz regularne monitorowanie parametrów fizjologicznych.

3.7. Rola psychologii sportu w zarządzaniu tempem wyścigu

W zarządzaniu tempem wyścigu w pływaniu wyczynowym istotną rolę odgrywają czynniki psychologiczne, takie jak koncentracja, poziom lęku startowego oraz zdolność do regulacji stresu. Choć tempo pływania wydaje się być ściśle związane z parametrami fizjologicznymi i biomechanicznymi, rosnąca liczba badań potwierdza, że decyzje o przyspieszaniu, zwalnianiu, czy utrzymaniu tempa są w dużym stopniu modulowane przez stan psychiczny zawodnika i jego umiejętność interpretowania sygnałów wewnętrznych w kontekście presji rywalizacji (N. Brick i in, 2014; N. E. Brick i in, 2016)

Samoregulacja odnosi się do świadomego modyfikowania myśli i zachowań tak, aby pozostawały zgodne z przyjętymi celami lub standardami działania (Forgas i in., 2011). W sporcie wytrzymałościowym przejawia się ona przede wszystkim w kontrolowaniu prędkości albo generowanej mocy wysiłku, tak aby możliwe było osiągnięcie jak najwyższego poziomu wykonania sportowego (de Koning i in., 2011; De Morree & Marcora, 2013). Koncentracja uwagi i jej ukierunkowanie mają istotne znaczenie dla skutecznej kontroli tempa. Pływacy, którzy potrafią świadomie kierować uwagę na wewnętrzne sygnały fizjologiczne — takie jak poziom zmęczenia, rytm oddechu czy napięcie mięśniowe — są bardziej skłonni do wyboru adaptacyjnych strategii pacingu, co może przekładać się na lepsze wyniki. W jednym z badań wskazano, że skuteczna orientacja uwagi na własne odczucia (strategia tzw. internal focus) była powiązana z bardziej optymalnym zarządzaniem wysiłkiem i mniejszym ryzykiem kontuzji wśród pływaków długodystansowych (Bond i in., 1988).

Stres startowy i lęk również mają bezpośredni wpływ na strategie pacingowe (Gorskova i in., 2025). Zbyt wysoki poziom pobudzenia nerwowego może prowadzić do impulsywnego rozpoczęcia wyścigu z nadmiernym tempem (tzw. strategia fast-start), co często skutkuje gwałtownym spadkiem wydajności w drugiej połowie dystansu. Z kolei zbyt niski poziom pobudzenia może osłabić gotowość do rywalizacji i skutkować zachowawczą, nieoptymalną strategią tempa. W badaniu prowadzonym wśród młodych pływaków wykazano, że trudności w dokładnym oszacowaniu tempa podczas testów wysiłkowych wiązały się z niepełnym rozwojem zdolności poznawczych i ograniczoną ekspozycją na bodźce rywalizacyjne, co sugeruje psychologiczne podłoże błędów w pacingu u sportowców w fazie rozwoju (Gordon i in., 2015).

W kontekście treningu psychologicznego, skuteczne programy interwencji — obejmujące techniki takie jak wizualizacja, kontrola oddechu, pozytywna autosugestia czy koncentracja zadaniowa — mogą istotnie poprawiać nie tylko poziom pewności siebie, ale i zdolność do utrzymywania lub korygowania tempa podczas wyścigu. W badaniu nad dziewięciotygodniowym programem interwencji psychologicznej u młodych pływaków wykazano istotną poprawę w zakresie pewności siebie oraz osiąganych wyników sportowych, co potwierdza praktyczną wartość tego typu oddziaływań w kontekście strategii startowych i regulacji tempa (Pavlidou & Doganis, 2008).

Zdolność do zachowania samoregulacji psychicznej — czyli umiejętności monitorowania własnego stanu emocjonalnego i podejmowania świadomych decyzji w czasie rzeczywistym — może być kluczowa w momentach krytycznych wyścigu, gdy fizyczne zmęczenie intensyfikuje wewnętrzny dyskomfort, a presja wyniku wzrasta. Pływacy, którzy potrafią zarządzać stresem oraz utrzymać wysoką jakość uwagi i kontroli emocji, są w stanie skuteczniej wdrażać strategie pacingowe, dostosowując tempo do zmieniającej się sytuacji wyścigowej. W badaniach Fortes i in. (2016) oraz Silva i in. (2019) wykazano, że sportowcy rywalizujący na wyższym poziomie charakteryzują się zwykle niższym poziomem lęku oraz większą pewnością siebie, co sugeruje, że skuteczne regulowanie stanów emocjonalnych może sprzyjać osiąganiu lepszych wyników sportowych.

Nie bez znaczenia jest również kwestia indywidualizacji strategii psychologicznych — doświadczeni trenerzy wysokiego szczebla podkreślają, że rozwijanie zdolności pacingowych wymaga nie tylko pracy nad techniką i fizjologią, ale także nad uwarunkowaniami psychicznymi, dostosowanymi do potrzeb konkretnego zawodnika. Według Gorskova i in. (2025) celowany trening psychologiczny może ograniczać lęk przedstartowy, lecz nie musi prowadzić bezpośrednio do poprawy wyniku sportowego. Dalsze badania powinny uwzględniać różnice indywidualne w reakcjach lękowych oraz długoterminowe efekty przygotowania psychologicznego.

Ostatecznie należy podkreślić, że proces decyzyjny związany z pacingiem w warunkach zawodów jest nie tylko funkcją wydolności fizycznej, lecz również złożoną grą między koncentracją, kontrolą emocji, a oceną własnych zasobów. Rola psychologii sportu w tym kontekście jest nieodzowna i powinna stanowić integralny element zarówno przygotowania treningowego, jak i analizy startowej w pływaniu wyczynowym.

3.8. Wpływ zmiennych biomechanicznych na zarządzanie tempem wyścigu

Zarządzanie tempem wyścigu w pływaniu wyczynowym jest ściśle związane z biomechaniką ruchu, obejmującą takie parametry jak długość i częstotliwość cyklu pływackiego, rytm pracy nóg, sposób koordynacji oddechu z cyklem ruchowym, a także płynność i efektywność techniki (Staunton i in., 2025). Badania wykazują, że optymalne dostosowanie tych zmiennych pozwala na bardziej ekonomiczne wykorzystanie zasobów energetycznych i lepsze utrzymanie prędkości na dystansie (Bouvet & Bideau, 2025).

Długość cyklu (SL) jest jednym z głównych wskaźników efektywności ruchu. SL to odległość, jaką pływak pokonuje do przodu podczas jednego cyklu ruchowego (Psycharakis i in., 2008). Większa długość cyklu świadczy zazwyczaj o lepszej technice i wykorzystaniu siły napędowej w wodzie. Jednak nie sama długość cyklu, lecz zdolność do jej utrzymania w warunkach narastającego zmęczenia, okazuje się kluczowa dla utrzymania optymalnego tempa wyścigu. (Bouvet & Bideau, 2025) zauważyli, że zawodnicy osiągający najlepsze wyniki charakteryzowali się zdolnością do regulacji długości cyklu i wskaźnika stroke index (SI) w trakcie trwania całego dystansu, co korelowało z mniejszym spadkiem tempa oraz większą stabilnością mechaniczną.

Wskaźnik częstości cyklu (SR) natomiast jest ściśle powiązany z intensywnością wysiłku. SR odnosi się do liczby pełnych cykli ruchowych w danej jednostce czasu (Psycharakis i in., 2008). Utrzymanie zbyt wysokiej częstotliwości w początkowej fazie wyścigu może prowadzić do przedwczesnego wyczerpania zasobów energetycznych, natomiast zbyt niska częstotliwość skutkuje utratą prędkości. Badania wskazują, że zawodnicy o wyższej efektywności pacingowej wykazywali tendencję do utrzymywania wyższej częstotliwości cyklu przy jednoczesnym obniżeniu tzw. „jerk cost", czyli zmienności przyspieszenia ciała (Bouvet & Bideau, 2025). Sugeruje to, że skuteczne zarządzanie tempem wymaga nie tylko siły i wytrzymałości, ale także płynności ruchu i precyzyjnej kontroli mechaniki ciała. Równie istotny jest rytm pracy nóg, który wpływa zarówno na stabilizację ciała w wodzie, jak i na ogólną dynamikę poruszania się. Guignard i in. (2017), zastosowali czujniki inercyjne do analizy synchronizacji pracy rąk, nóg i oddychania, wykazując, że spójna i zsynchronizowana praca kończyn dolnych z cyklem ramion i oddychaniem pozwala nie tylko na zmniejszenie oporów wody, ale także na lepsze wykorzystanie potencjału napędowego. Równowaga między pracą nóg a częstotliwością cyklu ma również wpływ na zużycie tlenu i ogólną ekonomię ruchu, co czyni ją jednym z kluczowych elementów strategii pacingowej.

Oddychanie jako element biomechaniczny (choć często uznawany za aspekt fizjologiczny) także pełni rolę w kształtowaniu rytmu wyścigu. Nieefektywne oddychanie – zbyt częste lub zaburzające pozycję ciała – może prowadzić do destabilizacji hydrodynamicznej, zwiększenia oporu i zaburzenia ciągłości tempa. Z kolei dobrze zsynchronizowany wzorzec oddechowy może działać stabilizująco i rytmizująco, stanowiąc element regulacyjny całego cyklu pływackiego.

Oddychanie stanowi czynnik mogący zakłócać efektywność pływania (Castro & Guimaraes, 2006). Podczas wdechu obserwuje się zwiększenie rotacji ciała, czyli większy zakres obrotu niż w cyklach bezdechowych (Castro i in., 2003). U elitarnych pływaków zjawisko to nie prowadzi jednak do zaburzenia toru ruchu dłoni, zwłaszcza w odniesieniu do głębokości i szerokości fazy insweep (Payton i in., 1999). Rotacja ciała, zarówno związana z generowaniem siły napędowej, jak i z aktem oddechowym, musi być jednak odpowiednio kontrolowana, aby nie dochodziło do utraty opływowej i hydrodynamicznie efektywnej pozycji w wodzie (Seifert i in., 2008).

Niektóre techniczne zmienne – takie jak indeks koordynacji (IdC, index of coordination), czyli relacja czasowa między napędową fazą jednej kończyny a drugą – również wpływają na efektywność tempa. Quagliarotti i in. (2023) wykazali, że zastosowanie pianki neoprenowej zmieniało parametry biomechaniczne zawodników poprzez redukcję liczby kopnięć i oddechów, co przyczyniło się do wydłużenia cyklu i zmniejszenia kosztu energetycznego bez negatywnego wpływu na rytm czy komfort ruchu.

Podkreślić należy również, że biomechaniczne uwarunkowania pacingu nie są uniwersalne – wykazano znaczne różnice indywidualne pomiędzy zawodnikami nawet na zbliżonym poziomie sportowym. Różnice te dotyczą nie tylko cech anatomicznych, ale również osobniczych strategii kompensacyjnych, wynikających z lat treningu, nawyków technicznych i zdolności percepcyjnych. Dlatego personalizacja biomechanicznej analizy wyścigu – z uwzględnieniem zmienności długości cyklu, rytmu pracy nóg i sposobu oddychania – stanowi ważny element przygotowania wyczynowego. Zintegrowane podejście do analizy zmiennych biomechanicznych w kontekście zarządzania tempem wyścigu w pływaniu pozwala nie tylko lepiej zrozumieć mechanizmy kontroli tempa, ale także tworzyć indywidualne profile techniczne zawodników, wspierające ich rozwój sportowy i precyzyjne dostosowanie strategii pacingowej do warunków startowych i dystansu.

4. Cel pracy i pytania badawcze

Celem niniejszej pracy doktorskiej jest opracowanie kompleksowych schematów rozkładu tempa pływania w konkurencjach stylu dowolnego na dystansach 100, 200, 400, 800 oraz 1500 metrów, rozgrywanych na długim basenie (50 metrowym) przez mężczyzn. Analiza ta opiera się na wynikach finałowych najważniejszych zawodów pływackich w XXI wieku, takich jak igrzyska olimpijskie, mistrzostwa świata, mistrzostwa Europy, igrzyska Wspólnoty Brytyjskiej oraz mistrzostwa Pacyfiku.

Przyjęto hipotezę, że strategia rozkładu tempa pływania stanowi kluczowy czynnik determinujący poziom osiągnięć sportowych w pływaniu, a jej analiza umożliwia identyfikację charakterystycznych wzorców tempa dla poszczególnych dystansów oraz opracowanie modeli o wartości diagnostycznej i prognostycznej w planowaniu procesu treningowego i startowego. Realizacja powyższych celów przyczyni się do pogłębienia wiedzy na temat zależności między rozkładem tempa a efektywnością startu, co w praktyce może być wykorzystane przez trenerów i zawodników do optymalizacji strategii wyścigowych. W pracy zostaną wykorzystane metody analizy statystycznej, modelowania matematycznego oraz wizualizacji danych, co pozwoli na precyzyjne określenie tendencji i różnic w podejściu do rozgrywania poszczególnych konkurencji. W efekcie, opracowane schematy rozkładu tempa mają stanowić solidną podstawę do wdrażania innowacyjnych metod treningowych, które przyczynią się do podniesienia poziomu osiągnięć sportowych w pływaniu na długim basenie.

Osiągnięcie celu pracy wiąże się ze sformułowaniem, a następnie udzieleniem odpowiedzi na cztery kluczowe pytania badawcze, odnoszące się do: (1) wzorców rozkładu tempa w pływaniu na poziomie elitarnym, (2) lokalizacji kluczowych zmian tempa w wyścigu, (3) dynamiki tempa w kontekście strategii wyścigowych oraz (4) matematycznej charakterystyki schematu rozkładu tempa. Tak zarysowane obszary problemowe umożliwiają pogłębioną analizę przebiegu wyścigu oraz sformułowanie wniosków o charakterze zarówno teoretycznym, jak i praktycznym. Stanowią one również punkt wyjścia do dalszych badań opartych na analizie danych z najważniejszych zawodów pływackich.

1. Czy w wyścigach pływackich na poziomie elity można zidentyfikować uniwersalny i powtarzalny schemat rozkładu tempa, przejawiający się w podobnej strukturze zmian prędkości na kolejnych odcinkach dystansu?

2. Które fragmenty dystansu w wyścigach pływackich charakteryzują się największą dynamiką zmian tempa oraz w jaki sposób zakres i kierunek tych zmian różnicują się w zależności od długości pokonywanego dystansu?

3. W jaki sposób kształtuje się tempo w kolejnych segmentach dystansu podczas wyścigu pływackiego oraz czy na podstawie analizy międzyczasów można wyróżnić powtarzalne schematy zależne od długości konkurencji?

4. Jaki charakter matematyczny – liniowy czy krzywoliniowy – przyjmuje schemat rozkładu tempa w wyścigach pływackich oraz czy jego forma pozostaje spójna niezależnie od dystansu?

Na podstawie przeprowadzonej analizy piśmiennictwa oraz w odniesieniu do sformułowanych pytań badawczych, przyjęto następujące hipotezy badawcze, które poddano weryfikacji w toku analiz empirycznych:

1. Zawodnicy najwyższego poziomu, startujący w finałach najważniejszych imprez pływackich, prezentują zbliżone strategie rozkładu tempa, co wskazuje na istnienie względnie ujednoliconego modelu regulacji prędkości charakterystycznego dla rywalizacji na poziomie elitarnym.

2. Największe zróżnicowanie w rozkładzie tempa występuje w początkowej oraz końcowej fazie wyścigu, natomiast środkowy fragment dystansu charakteryzuje się relatywnie mniejszą dynamiką zmian prędkości, co odzwierciedla stabilizację wysiłku w zasadniczej części rywalizacji.

3. W konkurencjach krótkodystansowych dominuje strategia pozytywna (positive pacing), polegająca na relatywnie szybszym pokonaniu pierwszej części dystansu, podczas gdy w konkurencjach długodystansowych rozkład tempa cechuje się większą równomiernością pomiędzy pierwszą a drugą częścią wyścigu.

4. Wraz ze wzrostem długości dystansu schemat rozkładu tempa wykazuje coraz wyraźniejszy charakter krzywoliniowy, ponieważ narastające zmęczenie oraz zmieniające się uwarunkowania fizjologiczne wymuszają nieliniową modyfikację prędkości,

w przeciwieństwie do konkurencji krótszych, w których przebieg tempa jest bardziej zbliżony do liniowego.

Weryfikacja powyższych hipotez umożliwi pogłębione rozpoznanie mechanizmów determinujących efektywność rozkładu tempa w pływaniu stylem dowolnym na zróżnicowanych dystansach. Uzyskane wyniki pozwolą na precyzyjniejsze określenie zależności między strukturą wyścigu a osiąganym rezultatem sportowym oraz dostarczą praktycznych implikacji dla procesu treningowego, w szczególności w zakresie optymalizacji strategii startowych.

5. Materiał i metody badań

5.1. Materiał do badań

Dane do analizy zostały pozyskane z wyników finałów konkurencji 100, 200, 400, 800 i 1500 metrów stylem dowolnym mężczyzn, pochodzących z najważniejszych międzynarodowych zawodów pływackich XXI wieku. Wyniki te zostały zaczerpnięte z oficjalnych baz danych i archiwów organizacji sportowych, w tym World Aquatics, Omega Timing, Międzynarodowego Komitetu Olimpijskiego oraz Swimrankings. Rejestracja wyników czasowych opierała się na oficjalnych, zautomatyzowanych systemach pomiarowych wiodących światowych producentów, takich jak OMEGA, Swiss Timing, Longines, Seiko oraz Colorado Time Systems. Ekstrakcja międzyczasów była prowadzona na podstawie protokołów elektronicznych z zawodów dostępnych w formacie PDF, a pomiar czasu uwzględniał standard precyzji do 0,01 s. Uwzględniono wszystkie kluczowe zawody pływackie objęte analizą, co wiązało się z wyłączeniem imprez z lat dziewięćdziesiątych XX wieku i wcześniejszych, funkcjonujących w odmiennych realiach organizacyjnych oraz przy niższym poziomie profesjonalizacji i wyników sportowych. W finałach startuje ośmiu zawodników, co stanowiło przyjęte kryterium wyboru danych do analizy. W przypadku dyskwalifikacji wynik danego zawodnika nie był uwzględniany w analizie. Pominięcie konkurencji 400, 800 i 1500 m stylem dowolnym podczas mistrzostw świata w Fukuoce w 2001 roku wynikało z braku ogólnodostępnych wyników z podziałem na międzyczasy co 50 m, co uniemożliwiało ich wykorzystanie zgodnie z przyjętą procedurą analityczną. Na dystansie 100 m włączono do analizy 312 wyników, które podzielono na 624 odcinki 50-metrowe. Na dystansie 200 m analizie poddano 311 wyników, co odpowiadało 1244 odcinkom 50-metrowym. W przypadku dystansu 400 m uwzględniono 303 wyniki, obejmujące łącznie 2424 odcinki 50-metrowe, natomiast na dystansie 800 m analizowano 199 wyników, co dało 3184 odcinki. Największą liczbę odcinków uzyskano dla dystansu 1500 m, gdzie 303 wyniki przełożyły się na 9090 odcinków 50-metrowych. Łącznie materiał badawczy obejmował 1428 wyników startowych oraz 16 566 odcinków 50-metrowych.

Do analiz włączono wyniki zarejestrowane w następujących imprezach:

- **Igrzyska olimpijskie:** Sydney, Australia (2000), Ateny, Grecja (2004), Pekin, Chiny (2008), Londyn, Wielka Brytania (2012), Rio de Janeiro, Brazylia (2016), Tokio, Japonia (2020).
- **Mistrzostwa świata:** Fukuoka, Japonia (2001), Barcelona, Hiszpania (2003), Montreal, Kanada (2005), Melbourne, Australia (2007), Rzym, Włochy (2009), Szanghaj, Chiny (2011), Barcelona, Hiszpania (2013), Kazań, Rosja (2015), Budapeszt, Węgry (2017), Gwangju, Korea Południowa (2019), Budapeszt, Węgry (2022), Fukuoka, Japonia (2023), Doha, Katar (2024).
- **Mistrzostwa Europy:** Berlin, Niemcy (2002), Madryt, Hiszpania (2004), Budapeszt, Węgry (2006), Eindhoven, Holandia (2008), Budapeszt, Węgry (2010), Debreczyn, Węgry (2012), Berlin, Niemcy (2014), Londyn, Wielka Brytania (2016), Glasgow, Wielka Brytania (2018), Budapeszt, Węgry (2021), Rzym, Włochy (2022).
- **Igrzyska Wspólnoty Brytyjskiej:** Melbourne, Australia (2006), Delhi, Indie (2010), Glasgow, Wielka Brytania (2014), Gold Coast, Australia (2018), Birmingham, Wielka Brytania (2022).
- **Mistrzostwa Pacyfiku:** Victoria, Kanada (2006), Irvine, Stany Zjednoczone (2010), Gold Coast, Australia (2014), Tokio, Japonia (2018).

W celu szczegółowego uporządkowania materiału badawczego przygotowano odrębne zestawienia dla każdego z analizowanych dystansów: 100, 200, 400, 800 i 1500 m stylem dowolnym, które ustrukturyzowano kolejno w Tabelach 1–5. Zestawienia te obejmowały finały zawodów międzynarodowych włączone do analizy, z uwzględnieniem rangi zawodów, miejsca i roku ich rozegrania, liczby finalistów, zwycięzcy, kraju reprezentowanego przez zwycięzcę oraz wieku zwycięzcy. Takie ujęcie umożliwiło przedstawienie materiału badawczego zarówno w układzie chronologicznym, jak i w odniesieniu do typu imprezy sportowej.

Do analizy włączono finały rozgrywane podczas najważniejszych zawodów międzynarodowych, obejmujących igrzyska olimpijskie, mistrzostwa świata, mistrzostwa Europy, igrzyska Wspólnoty Brytyjskiej oraz mistrzostwa Pacyfiku. Dobór zawodów miał na celu objęcie analizą wyników uzyskiwanych w warunkach rywalizacji na wysokim poziomie sportowym, przy jednoczesnym zachowaniu zróżnicowania pod względem rangi imprezy, okresu rozegrania zawodów oraz reprezentacji krajowych obecnych w finałach. W każdej

z dedykowanych tabel (Tabele 1–5) dane przedstawiono oddzielnie dla kolejnych edycji zawodów, co pozwoliło na zachowanie przejrzystej struktury materiału przed etapem właściwej analizy międzyczasów.

Dla każdego finału określono liczbę zawodników oraz podstawowe charakterystyki opisowe dotyczące wieku finalistów. Wiek zwycięzcy podano jako wartość indywidualną, natomiast wiek finalistów przedstawiono za pomocą średniej arytmetycznej i odchylenia standardowego. Dodatkowo w obrębie każdej rangi zawodów obliczono zbiorczą charakterystykę wieku finalistów, obejmującą wszystkie finały należące do danej grupy imprez. Dzięki temu możliwe było przedstawienie wieku zawodników zarówno na poziomie pojedynczego finału, jak i na poziomie całej kategorii zawodów. W tabelach uwzględniono również kraje najczęściej reprezentowane w finałach danej grupy zawodów. Kraj zawodnika określono na podstawie reprezentacji, którą zawodnik reprezentował w danym starcie. Zastosowanie takiego kryterium było istotne ze względu na charakter danych sportowych, w których jednostką identyfikującą zawodnika w wynikach oficjalnych jest najczęściej reprezentacja narodowa lub federacja, a nie narodowość rozumiana w sensie obywatelstwa lub pochodzenia.

Tabela 1. Charakterystyka finałów na dystansie 100 m z uwzględnieniem rangi zawodów, zwycięzców oraz struktury finalistów.

NAZWA ZAWODÓW		LICZBA ZAWODNIKÓW	ZWYCIĘZCA	KRAJ ZWYCIĘZCY	WIEK ZWYCIĘZCY	M (SD) WIEKU FINALISTÓW		NAJCZ. KRAJE W FINAŁACH
IO	TOKIO 2020	8	CAELEB DRESSEL	USA	25	21,38 (2,67)	23,92 (3,35)	AUSTRALIA (9) USA (7) ROSJA (5)
	RIO 2016	8	KYLE CHALMERS	AUSTRALIA	18	22,63 (3,93)		
	LONDYN 2012	8	NATHAN ADRIAN	USA	24	23,88 (2,70)		
	PEKIN 2008	8	ALAIN BERNARD	FRANCJA	25	25,88 (3,98)		
	ATENY 2004	8	P. V. D. HOOGENBAND	HOLANDIA	26	24,38 (2,77)		
	SYDENY 2000	8	P. V. D. HOOGENBAND	HOLANDIA	22	25,38 (2,39)		
MŚ	DOHA 2024	8	PAN ZHANLE	CHINY	20	22,63 (2,72)	23,54 (3,33)	USA (18) AUSTRALIA (12) FRANCJA (11)
	FUKUOKA 2023	8	KYLE CHALMERS	AUSTRALIA	25	21,63 (2,39)		
	BUDAPESZT 2022	8	DAVID POPOVICI	RUMUNIA	18	21,13 (2,30)		
	GWANGJU 2019	8	CAELEB DRESSEL	USA	23	23,13 (2,85)		
	BUDAPESZT 2017	8	CAELEB DRESSEL	USA	21	22,75 (3,65)		
	KAZAŃ 2015	8	ZETAO NING	CHINY	22	24,13 (2,85)		
	BARCELONA 2013	8	JAMES MAGNUSSEN	AUSTRALIA	22	23,50 (3,89)		
	SZNGHAJ 2011	8	JAMES MAGNUSSEN	AUSTRALIA	20	24,13 (3,36)		
	RZYM 2009	8	CESAR CIELO FILHO	BRAZYLIA	22	25,00 (2,62)		
	MELBOURNE 2007	8	FILIPPO MAGNINI	WŁOCHY	25	26,13 (4,12)		
	MONTREAL 2005	8	FILIPPO MAGNINI	WŁOCHY	23	23,75 (3,65)		
	BARCELONA 2003	8	ALEXANDER POPOV	ROSJA	32	24,50 (4,17)		
	FUKUOKA 2001	8	ANTHONY ERVIN	USA	20	23,63 (3,07)		
ME	BELGRAD 2024	8	DAVID POPOVICI	RUMUNIA	20	24,50 (3,78)	24,10 (3,14)	WŁOCHY (17) FRANCJA (16) ROSJA (13)
	RZYM 2022	8	DAVID POPOVICI	RUMUNIA	18	23,00 (2,78)		
	BUDAPESZT 2021	8	KLIMENT KOLESNIKOV	ROSJA	21	20,75 (1,91)		
	GALSGOW 2018	8	ALESSANDRO MIRESSI	WŁOCHY	20	22,00 (3,25)		
	LONDYN 2016	8	LUCA DOTTO	WŁOCHY	26	26,50 (2,33)		
	BERLIN 2014	8	FLORENT MANAUDOU	FRANCJA	24	24,63 (2,50)		
	DEBRECZYN 2012	8	FILIPPO MAGNINI	WŁOCHY	30	25,38 (3,42)		
	BUDAPESZT 2010	8	ALAIN BERNARD	FRANCJA	27	24,63 (3,16)		
	EINDHOVEN 2008	8	ALAIN BERNARD	FRANCJA	25	24,13 (2,75)		
	BUDAPESZT 2006	8	FILIPPO MAGNINI	WŁOCHY	24	24,50 (2,07)		
	MADRYT 2004	8	FILIPPO MAGNINI	WŁOCHY	22	23,75 (2,66)		
	BERLIN 2002	8	P. V. D. HOOGENBAND	HOLANDIA	24	25,50 (3,74)		
CW	BIRMINGHAM 2022	8	KYLE CHALMERS	AUSTRALIA	24	22,75 (2,66)	22,90 (2,73)	AUSTRALIA (15) KANADA (7) ANGLIA (7)
	GOLD COAST 2018	8	DUNCAN SCOTT	SZKOCJA	21	22,50 (2,14)		
	GLASGOW 2014	8	JAMES MAGNUSSEN	AUSTRALIA	23	21,75 (2,49)		
	DELHI 2010	8	BRENT HAYDEN	KANADA	27	23,38 (2,72)		
	MELBOURNE 2006	8	SIMON BURNETT	ANGLIA	23	24,13 (3,56)		
PP	TOKIO 2018	8	KYLE CHALMERS	AUSTRALIA	20	22,75 (2,92)	24,28 (3,73)	USA (8) AUSTRALIA (7) BRAZYLIA (6)
	GOLD COAST 2014	8	CAMERON MCEVOY	AUSTRALIA	20	24,00 (3,21)		
	IRVINE 2010	8	NATHAN ADRIAN	USA	22	25,38 (4,47)		
	VICTORIA 2006	8	BRENT HAYDEN	KANADA	23	25,00 (4,24)		

Tabela 2. Charakterystyka finałów na dystansie 200 m z uwzględnieniem rangi zawodów, zwycięzców oraz struktury finalistów.

NAZWA ZAWODÓW		LICZBA ZAWODNIKÓW	ZWYCIĘZCA	KRAJ ZWYCIĘZCY	WIEK ZWYCIĘZCY	M (SD) WIEKU FINALISTÓW		NAJCZ. KRAJE W FINAŁACH
IO	TOKIO 2020	8	THOMAS DEAN	WLK. BRYTANIA	21	21,50 (2,98)	22,71 (2,83)	USA (12) AUSTRALIA (10) WŁOCHY (5)
	RIO 2016	8	YANG SUN	CHINY	25	23,75 (3,45)		
	LONDYN 2012	8	YANNICK AGNEL	FRANCJA	20	23,00 (2,83)		
	PEKIN 2008	8	MICHAEL PHELPS	USA	23	22,25 (2,12)		
	ATENY 2004	8	IAN THORPE	AUSTRALIA	22	23,13 (2,53)		
	SYDENY 2000	8	P. V. D. HOOGENBAND	HOLANDIA	22	22,63 (3,25)		
MŚ	DOHA 2024	8	SUN WOO HWANG	KOREA PŁD.	21	24,25 (2,87)	22,87 (2,99)	USA (18) AUSTRALIA (14) ROSJA (10)
	FUKUOKA 2023	8	MATTHEW RICHARDS	WLK. BRYTANIA	21	21,88 (2,53)		
	BUDAPESZT 2022	8	DAVID POPOVICI	RUMUNIA	18	21,50 (2,39)		
	GWANGJU 2019	7	YANG SUN	CHINY	28	23,50 (2,98)		
	BUDAPESZT 2017	8	YANG SUN	CHINY	26	23,38 (2,88)		
	KAZAŃ 2015	8	JAMES GUY	WLK. BRYTANIA	20	24,38 (4,21)		
	BARCELONA 2013	8	YANNICK AGNEL	FRANCJA	21	22,75 (3,41)		
	SZNGHAJ 2011	8	RYAN LOCHTE	USA	27	23,63 (3,11)		
	RZYM 2009	8	PAUL BIEDERMANN	NIEMCY	23	21,50 (1,77)		
	MELBOURNE 2007	8	MICHAEL PHELPS	USA	22	22,50 (4,24)		
	MONTREAL 2005	8	MICHAEL PHELPS	USA	20	22,63 (3,62)		
	BARCELONA 2003	8	IAN THORPE	AUSTRALIA	21	23,25 (1,67)		
	FUKUOKA 2001	8	IAN THORPE	AUSTRALIA	19	22,13 (2,30)		
ME	BELGRAD 2024	8	DAVID POPOVICI	RUMUNIA	20	23,75 (4,06)	23,34 (2,96)	WŁOCHY (15) ROSJA (10) NIEMCY (9) WLK. BRYTANIA (9)
	RZYM 2022	8	DAVID POPOVICI	RUMUNIA	18	22,38 (3,07)		
	BUDAPESZT 2021	8	MARTIN MALYUTIN	ROSJA	22	22,63 (3,11)		
	GALSGOW 2018	8	DUNCAN SCOTT	WLK. BRYTANIA	21	22,50 (1,69)		
	LONDYN 2016	8	SEBASTIAN VERSCHUREN	HOLANDIA	28	23,38 (2,77)		
	BERLIN 2014	8	VELMIR STJEPANOVIĆ	SERBIA	21	25,13 (3,64)		
	DEBRECZYN 2012	8	PAUL BIEDERMANN	NIEMCY	26	23,88 (2,90)		
	BUDAPESZT 2010	8	PAUL BIEDERMANN	NIEMCY	24	22,25 (2,05)		
	EINDHOVEN 2008	8	PAUL BIEDERMANN	NIEMCY	22	24,00 (4,04)		
	BUDAPESZT 2006	8	P. V. D. HOOGENBAND	HOLANDIA	28	23,88 (3,00)		
	MADRYT 2004	8	P. V. D. HOOGENBAND	HOLANDIA	26	23,25 (2,66)		
	BERLIN 2002	8	P. V. D. HOOGENBAND	HOLANDIA	24	23,13 (2,36)		
CW	BIRMINGHAM 2022	8	DUNCAN SCOTT	SZKOCJA	25	23,50 (3,55)	23,15 (2,82)	AUSTRALIA (11) SZKOCJA (8) ANGLIA (7)
	GOLD COAST 2018	8	KYLE CHALMERS	AUSTRALIA	20	23,13 (2,17)		
	GLASGOW 2014	8	THOMAS FRASER-HOLMES	AUSTRALIA	23	21,75 (2,19)		
	DELHI 2010	8	ROBERT RENWICK	SZKOCJA	22	23,25 (3,28)		
	MELBOURNE 2006	8	ROSS DAVENPORT	ANGLIA	22	24,13 (2,85)		
PP	TOKIO 2018	8	TOWNLEY HAAS	USA	22	22,00 (1,51)	22,31 (2,99)	AUSTRALIA (8) USA (8) JAPONIA (6)
	GOLD COAST 2014	8	THOMAS FRASER-HOLMES	AUSTRALIA	23	23,75 (3,45)		
	IRVINE 2010	8	RYAN LOCHTE	USA	26	22,63 (3,58)		
	VICTORIA 2006	8	KLETE KELLER	USA	24	20,88 (2,75)		

Tabela 3. Charakterystyka finałów na dystansie 400 m z uwzględnieniem rangi zawodów, zwycięzców oraz struktury finalistów.

NAZWA ZAWODÓW		LICZBA ZAWODNIKÓW	ZWYCIĘZCA	KRAJ ZWYCIĘZCY	WIEK ZWYCIĘZCY	M (SD) WIEKU FINALISTÓW		NAJCZ. KRAJE W FINAŁACH
IO	TOKIO 2020	8	AYOUB HAFNAOUI	TUNEZJA	19	22,88 (3,00)	22,65 (2,96)	WŁOCHY (5) CHINY (4) ROSJA (3)
	RIO 2016	8	MACKENZIE HORTON	AUSTRALIA	20	23,25 (2,38)		
	LONDYN 2012	8	YANG SUN	CHINY	21	23,63 (4,27)		
	PEKIN 2008	8	PARK TAE-HWAN	KOREA PŁD.	19	22,88 (2,85)		
	ATENY 2004	8	IAN THORPE	AUSTRALIA	22	22,13 (2,42)		
	SYDENY 2000	8	IAN THORPE	AUSTRALIA	18	21,13 (2,70)		
MŚ	DOHA 2024	8	WOOMIN KIM	KOREA PŁD.	23	24,63 (1,85)	22,98 (2,68)	USA (16) AUSTRALIA (14) WŁOCHY (9)
	FUKUOKA 2023	8	SAMUEL SHORT	AUSTRALIA	20	22,63 (2,33)		
	BUDAPESZT 2022	8	ELIJAH WINNINGTON	AUSTRALIA	22	22,50 (1,69)		
	GWANGJU 2019	8	YANG SUN	CHINY	28	24,00 (2,83)		
	BUDAPESZT 2017	8	YANG SUN	CHINY	26	23,88 (2,53)		
	KAZAŃ 2015	8	YANG SUN	CHINY	24	23,38 (2,72)		
	BARCELONA 2013	8	YANG SUN	CHINY	22	20,38 (2,56)		
	SZNGHAJ 2011	8	PARK TAE-HWAN	KOREA PŁD.	22	23,50 (3,02)		
	RZYM 2009	8	BIEDERMANN Paul	NIEMCY	23	22,38 (2,39)		
	MELBOURNE 2007	7	PARK TAE-HWAN	KOREA PŁD.	18	23,13 (3,31)		
	MONTREAL 2005	8	GRANT HACKETT	AUSTRALIA	25	23,13 (2,42)		
	BARCELONA 2003	8	IAN THORPE	AUSTRALIA	21	23,50 (3,34)		
	FUKUOKA 2001	8	IAN THORPE	AUSTRALIA	19	21,75 (2,60)		
ME	BELGRAD 2024	8	FELIX AUBOECK	AUSTRIA	28	24,00 (3,21)	22,97 (2,94)	WŁOCHY (17) NIEMCY (10) POLSKA (7) ROSJA (7)
	RZYM 2022	8	LUKAS MAERTENS	NIEMCY	21	23,63 (4,17)		
	BUDAPESZT 2021	8	MARTIN MALYUTIN	ROSJA	22	23,38 (2,77)		
	GALSGOW 2018	8	MYKHAYLO ROMANCHUK	UKRAINA	22	21,88 (0,99)		
	LONDYN 2016	8	GABRIELE DETTI	WŁOCHY	22	21,75 (1,39)		
	BERLIN 2014	8	VELMIR STJEPANOVIĆ	SERBIA	21	21,13 (2,80)		
	DEBRECZYN 2012	8	PAUL BIEDERMANN	NIEMCY	26	23,13 (3,09)		
	BUDAPESZT 2010	8	YANNICK AGNEL	FRANCJA	18	21,75 (1,91)		
	EINDHOVEN 2008	8	YURY PRILUKOV	ROSJA	24	24,50 (3,30)		
	BUDAPESZT 2006	8	YURY PRILUKOV	ROSJA	22	23,00 (3,55)		
	MADRYT 2004	8	EMILIANO BREMBILLA	WŁOCHY	26	23,88 (2,53)		
	BERLIN 2002	8	EMILIANO BREMBILLA	WŁOCHY	24	23,63 (3,70)		
CW	BIRMINGHAM 2022	8	ELIJAH WINNINGTON	AUSTRALIA	22	21,88 (2,80)	22,23 (2,80)	AUSTRALIA (11) SZKOCJA (8) KANADA (5) RPA (5)
	GOLD COAST 2018	8	MACKENZIE HORTON	AUSTRALIA	22	23,38 (1,85)		
	GLASGOW 2014	8	RYAN COCHRANE	KANADA	26	21,38 (3,11)		
	DELHI 2010	8	RYAN COCHRANE	KANADA	22	23,13 (2,85)		
	MELBOURNE 2006	8	DAVID CARRY	SZKOCJA	25	21,38 (3,20)		
PP	TOKIO 2018	8	JACK MCLOUGHLIN	AUSTRALIA	23	22,63 (2,07)	22,28 (2,41)	USA (8) JAPONIA (7) AUSTRALIA (5)
	GOLD COAST 2014	8	PARK TAE-HWAN	KOREA PŁD.	25	22,25 (2,60)		
	IRVINE 2010	8	PARK TAE-HWAN	KOREA PŁD.	21	22,88 (2,17)		
	VICTORIA 2006	8	PARK TAE-HWAN	KOREA PŁD.	17	21,38 (2,92)		

Tabela 4. Charakterystyka finałów na dystansie 800 m z uwzględnieniem rangi zawodów, zwycięzców oraz struktury finalistów.

	NAZWA ZAWODÓW	LICZBA ZAWODNIKÓW	ZWYCIĘZCA	KRAJ ZWYCIĘZCY	WIEK ZWYCIĘZCY	M (SD) WIEKU FINALISTÓW		NAJCZ. KRAJE W FINAŁACH
IO	TOKIO 2020	8	AYOUB HAFNAOUI	TUNEZJA	19	25,13 (2,23)		UKRAINA (2)
MŚ	DOHA 2024	8	DANIEL WIFFEN	IRLANDIA	23	25,13 (3,14)	23,06 (2,93)	WŁOCHY (14) USA (13) AUSTRALIA (11)
	FUKUOKA 2023	8	AYOUB HAFNAOUI	TUNEZJA	21	23,75 (3,11)		
	BUDAPESZT 2022	8	ROBERT FINKE	USA	23	25,63 (2,97)		
	GWANGJU 2019	8	GREGORIO PALTINIERI	WŁOCHY	25	24,75 (1,91)		
	BUDAPESZT 2017	8	GABRIELE DETTI	WŁOCHY	23	22,50 (2,14)		
	KAZAŃ 2015	8	YANG SUN	CHINY	24	21,38 (2,33)		
	BARCELONA 2013	8	YANG SUN	CHINY	22	22,75 (3,54)		
	SZNGHAJ 2011	8	YANG SUN	CHINY	20	23,50 (2,73)		
	RZYM 2009	8	LIN ZHANG	CHINY	22	23,63 (2,00)		
	MELBOURNE 2007	7	PRZEMYSŁAW STAŃCZYK	POLSKA	22	22,88 (3,23)		
	MONTREAL 2005	8	GRANT HACKETT	AUSTRALIA	25	20,88 (1,81)		
	BARCELONA 2003	8	GRANT HACKETT	AUSTRALIA	23	21,38 (3,34)		
	FUKUOKA 2001	8	IAN THORPE	AUSTRALIA	19	21,63 (2,07)		
ME	BELGRAD 2024	8	MYKHAYLO ROMANCHUK	UKRAINA	28	22,25 (4,13)	22,53 (3,11)	WŁOCHY (16) FRANCJA (8) UKRAINA (8)
	RZYM 2022	8	GREGORIO PALTINIERI	WŁOCHY	28	24,00 (4,69)		
	BUDAPESZT 2021	8	MYKHAYLO ROMANCHUK	UKRAINA	25	25,88 (2,36)		
	GALSGOW 2018	8	MYKHAYLO ROMANCHUK	UKRAINA	22	22,50 (2,07)		
	LONDYN 2016	8	GREGORIO PALTINIERI	WŁOCHY	22	21,25 (1,83)		
	BERLIN 2014	8	GREGORIO PALTINIERI	WŁOCHY	20	21,13 (1,73)		
	DEBRECZYN 2012	8	GERGO KIS	WĘGRY	24	21,38 (3,20)		
	BUDAPESZT 2010	8	SEBASTIAN ROUAULT	FRANCJA	24	21,88 (1,73)		
	EINDHOVEN 2008	8	GERGO KIS	WĘGRY	20	22,50 (2,83)		
CW	TOKIO 2018	8	ZANE GROTHE	USA	26	22,63 (2,62)	21,72 (2,70)	USA (10) JAPONIA (8) AUSTRALIA (6)
	GOLD COAST 2014	8	RYAN COCHRANE	KANADA	26	21,50 (2,73)		
	IRVINE 2010	8	RYAN COCHRANE	KANADA	22	22,13 (3,23)		
	VICTORIA 2006	8	ANDREW HURD	KANADA	24	20,63 (2,26)		

Tabela 5. Charakterystyka finałów na dystansie 1500 m z uwzględnieniem rangi zawodów, zwycięzców oraz struktury finalistów.

NAZWA ZAWODÓW		LICZBA ZAWODNIKÓW	ZWYCIĘZCA	KRAJ ZWYCIĘZCY	WIEK ZWYCIĘZCY	M (SD) WIEKU FINALISTÓW		NAJCZ. KRAJE W FINAŁACH
IO	TOKIO 2020	8	ROBERT FINKE	USA	22	24,50 (3,02)	22,88 (2,97)	USA (8) AUSTRALIA (6) WIELKA BRYTANIA (5)
	RIO 2016	8	GREGORIO PALTRINIERI	WŁOCHY	22	22,88 (2,70)		
	LONDYN 2012	8	YANG SUN	CHINY	21	23,13 (3,09)		
	PEKIN 2008	8	OUSSAMA MELLOULI	TUNEZJA	24	22,50 (3,25)		
	ATENY 2004	8	GRANT HACKETT	AUSTRALIA	24	22,75 (3,15)		
	SYDENY 2000	8	GRANT HACKETT	AUSTRALIA	20	21,50 (2,67)		
MŚ	DOHA 2024	8	DANIEL WIFFEN	IRLANDIA	23	23,38 (3,96)	23,06 (2,93)	USA (14) WŁOCHY (13) UKRAINA (10)
	FUKUOKA 2023	8	AYOUB HAFNAOUI	TUNEZJA	21	23,63 (2,77)		
	BUDAPESZT 2022	8	GREGORIO PALTRINIERI	WŁOCHY	28	25,38 (2,83)		
	GWANGJU 2019	8	FLORIAN WELLBROCK	NIEMCY	22	23,25 (2,31)		
	BUDAPESZT 2017	8	GREGORIO PALTINIERI	WŁOCHY	23	22,13 (1,46)		
	KAZAŃ 2015	7	GREGORIO PALTINIERI	WŁOCHY	21	22,38 (2,83)		
	BARCELONA 2013	8	YANG SUN	CHINY	22	22,38 (2,88)		
	SZNGHAJ 2011	8	YANG SUN	CHINY	20	22,75 (2,43)		
	RZYM 2009	8	OUSSAMA MELLOULI	TUNEZJA	25	22,50 (2,56)		
	MELBOURNE 2007	8	MATEUSZ SAWRYMOWICZ	POLSKA	20	23,25 (3,11)		
	MONTREAL 2005	8	GRANT HACKETT	AUSTRALIA	25	20,50 (2,45)		
	BARCELONA 2003	8	GRANT HACKETT	AUSTRALIA	23	21,38 (3,20)		
	FUKUOKA 2001	8	GRANT HACKETT	AUSTRALIA	21	22,00 (1,77)		
ME	BELGRAD 2024	8	KUZEY TUNCELLI	TURCJA	17	21,38 (3,74)	22,78 (3,06)	WŁOCHY (18) UKRAINA (12) FRANCJA (8) NIEMCY (8)
	RZYM 2022	8	MYKHAYLO ROMANCHUK	UKRAINA	26	25,00 (4,04)		
	BUDAPESZT 2021	8	MYKHAYLO ROMANCHUK	UKRAINA	25	24,75 (2,96)		
	GALSGOW 2018	8	FLORIAN WELLBROCK	NIEMCY	21	23,38 (1,85)		
	LONDYN 2016	8	GREGORIO PALTINIERI	WŁOCHY	22	21,75 (1,91)		
	BERLIN 2014	8	GREGORIO PALTINIERI	WŁOCHY	20	20,88 (1,73)		
	DEBRECZYN 2012	8	GREGORIO PALTINIERI	WŁOCHY	18	23,13 (3,76)		
	BUDAPESZT 2010	8	SEBASTIAN ROUAULT	FRANCJA	24	22,38 (2,07)		
	EINDHOVEN 2008	8	YURY PRILUKOV	ROSJA	24	23,38 (2,92)		
	BUDAPESZT 2006	8	YURY PRILUKOV	ROSJA	22	21,75 (2,96)		
	MADRYT 2004	8	YURY PRILUKOV	ROSJA	20	22,75 (2,43)		
	BERLIN 2002	8	YURY PRILUKOV	ROSJA	18	22,88 (4,05)		
CW	BIRMINGHAM 2022	8	SAMUEL SHORT	AUSTRALIA	19	21,75 (2,12)	21,68 (2,34)	AUSTRALIA (9) KANADA (6) ANGLIA (6) RPA (6)
	GOLD COAST 2018	8	JACK MCLOUGHLIN	AUSTRALIA	23	21,88 (1,73)		
	GLASGOW 2014	8	RYAN COCHRANE	KANADA	26	21,13 (3,56)		
	DELHI 2010	8	RYAN COCHRANE	KANADA	22	22,25 (1,75)		
	MELBOURNE 2006	8	DAVID DAVIES	WALIA	21	21,38 (2,50)		
PP	TOKIO 2018	8	JORDAN WILIMOVSKY	USA	24	23,75 (2,25)	21,75 (2,75)	USA (15) KANADA (5) JAPONIA (4)
	GOLD COAST 2014	8	CONNOR JAEGER	USA	23	21,75 (2,60)		
	IRVINE 2010	8	RYAN COCHRANE	KANADA	22	20,50 (2,56)		
	VICTORIA 2006	8	PARK TAE-HWAN	KOREA PŁD.	17	21,00 (2,83)		

Tabela 6. Zawodnicy o największej liczbie obserwacji w materiale badawczym z podziałem na dystanse pływackie.

Miejsce	Zawodnik	Kraj	100 m	200 m	400 m	800 m	1500 m	Razem	Udział [%]
1	Ryan Cochrane	CAN	-	-	10	7	13	30	2,10
2	Gregorio Paltrinieri	ITA	-	-	-	14	14	28	1,96
3	Yang Sun	CHN	-	5	7	5	5	22	1,54
4	Mykhaylo Romanchuk	UKR	-	-	1	9	11	21	1,47
5	Gabriele Detti	ITA	-	-	9	7	4	20	1,40
6	Grant Hackett	AUS	-	4	6	3	6	19	1,33
7	Mackenzie Horton	AUS	-	2	8	3	5	18	1,26
8	Tae-Hwan Park	KOR	-	7	8	-	3	18	1,26
9	Yuriy Prilukov	RUS	-	-	8	2	8	18	1,26
10	Henrik Christiansen	NOR	-	-	4	6	7	17	1,19
11	Pieter Van Den Hoogenband	NLD	9	8	-	-	-	17	1,19
12	Paul Biedermann	GER	-	12	4	-	-	16	1,12
13	Peter Vanderkaay	USA	-	4	7	3	2	16	1,12
14	Felix Auboeck	AUT	-	3	9	2	1	15	1,05
15	David Davies	GBR	-	-	3	2	9	14	0,98
16	Massimiliano Rosolino	ITA	-	6	8	-	-	14	0,98
17	Duncan Scott	GBR	5	8	-	-	-	13	0,91
18	James Guy	GBR	-	7	6	-	-	13	0,91
19	Lin Zhang	CHN	-	3	4	2	4	13	0,91
20	Brent Hayden	CAN	9	3	-	-	-	12	0,84
21	Connor Jaeger	USA	-	-	4	3	5	12	0,84
22	Dragos Coman	ROU	-	-	6	2	4	12	0,84
23	Robert Renwick	GBR	-	7	5	-	-	12	0,84
24	Cameron McEvoy	AUS	7	4	-	-	-	11	0,77
25	Federico Colbertaldo	ITA	-	-	2	4	5	11	0,77
26	Filippo Magnini	ITA	8	3	-	-	-	11	0,77
27	Gergo Kis	HUN	-	-	5	4	2	11	0,77
28	Lukas Martens	GER	-	3	4	2	2	11	0,77
29	Oussama Mellouli	TUN	-	-	4	4	3	11	0,77
30	Sebastien Rouault	FRA	-	-	3	5	3	11	0,77

Strukturę materiału badawczego według zawodników, z uwzględnieniem podziału na dystanse pływackie, przedstawiono w Tabeli 6. Analiza struktury próby wykazała, że największą liczbę obserwacji odnotowano dla Ryana Cochrane'a, którego wyniki uwzględniono 30 razy, co stanowiło 2,10% całego materiału badawczego. Wśród zawodników o najwyższej liczbie obserwacji znaleźli się również Gregorio Paltrinieri, Sun Yang, Mykhaylo Romanchuk oraz

Gabriele Detti. Najczęściej reprezentowani zawodnicy występowali głównie w konkurencjach średnio- i długodystansowych, zwłaszcza na dystansach 400, 800 oraz 1500 m stylem dowolnym.

Maksymalny udział pojedynczego zawodnika na poziomie 2,10% wskazuje na równomierne rozproszenie danych w analizowanym zbiorze. Struktura ta zapewnia wysoką różnorodność materiału badawczego i ogranicza wpływ wyników pojedynczych sportowców na końcowe wnioski z analizy.

Tabela 7. Kraje/reprezentacje o największej liczbie obserwacji w materiale badawczym z podziałem na dystanse.

Miejsce	Kraj	Liczba zawodników	100 m	200 m	400 m	800 m	1500 m	Razem	Udział [%]	Najczęściej analizowany zawodnik
1	USA	48	33	35	33	24	38	163	11,41	Peter Vanderkaay — 16
2	AUS	36	43	38	39	16	25	161	11,27	Grant Hackett — 19
3	ITA	26	25	23	29	30	34	141	9,87	Gregorio Paltrinieri — 28
4	GBR	31	16	47	30	6	28	127	8,89	David Davies — 14
5	FRA	19	30	9	10	13	14	76	5,32	Sebastien Rouault — 11
6	RUS	24	23	23	13	3	13	75	5,25	Yuriy Prilukov — 18
7	CAN	18	18	9	13	9	17	66	4,62	Ryan Cochrane — 30
8	GER	20	3	19	17	9	16	64	4,48	Paul Biedermann — 16
9	UKR	7	3	0	4	16	23	46	3,22	Mykhaylo Romanchuk — 21
10	RPA	15	19	10	7	1	8	45	3,15	Ryk Neethling — 9
11	CHN	8	5	8	14	7	10	44	3,08	Yang Sun — 22
12	HUN	11	13	5	8	8	9	43	3,01	Gergo Kis — 11
13	JPN	17	4	11	11	9	4	39	2,73	Takeshi Matsuda — 7
14	BRA	10	18	5	4	5	2	34	2,38	Guilherme Costa — 10
15	NLD	4	13	14	1	1	0	29	2,03	P. V. D. Hoogenband — 17
16	KOR	5	2	12	12	0	3	29	2,03	Tae-Hwan Park — 18
17	POL	8	0	2	7	6	10	25	1,75	Mateusz Sawrymowicz — 7
18	ROU	4	7	4	6	2	4	23	1,61	Dragos Coman — 12
19	AUT	3	0	4	9	3	1	17	1,19	Felix Auboeck — 15
20	NOR	1	0	0	4	6	7	17	1,19	Henrik Christiansen — 17
21	TUN	2	0	0	6	5	4	15	1,05	Oussama Mellouli — 11
22	SWE	4	8	1	2	2	0	13	0,91	Stefan Nystrand — 5
23	BEL	6	7	3	1	0	1	12	0,84	Pieter Timmers — 5
24	CZE	2	0	3	3	3	3	12	0,84	Jan Micka — 8
25	SUI	4	3	6	3	0	0	12	0,84	Antonio Djakovic — 5
26	GRE	5	0	2	4	0	4	10	0,70	Spyridon Gianniotis — 5
27	ESP	6	1	2	1	3	3	10	0,70	M. Rivera/O. Wildeboer — 3

Tabela 7 (cd.)

Miejsce	Kraj	Liczba zawodników	100 m	200 m	400 m	800 m	1500 m	Razem	Udział [%]	Najczęściej analizowany zawodnik
28	SRB	3	4	4	2	0	0	10	0,70	Velimir Stjepanovic — 7
29	IRL	1	0	0	2	3	3	8	0,56	Daniel Wiffen — 8
30	FRO	1	0	0	0	4	4	8	0,56	Pal Joensen — 8

Strukturę materiału badawczego według kraju lub reprezentacji zawodników, z uwzględnieniem podziału na dystanse, zaprezentowano w Tabeli 7. Największą liczbę obserwacji odnotowano dla zawodników reprezentujących Stany Zjednoczone, Australię, Włochy, Wielką Brytanię oraz Francję. Najwyższy udział miały Stany Zjednoczone, których zawodnicy odpowiadali za 163 obserwacje, co stanowiło 11,41% całej próby. Drugą najliczniej reprezentowaną grupę stanowili zawodnicy z Australii, dla których odnotowano 161 obserwacji, czyli 11,27% analizowanego materiału.

Analizowana populacja finalistów zawodów rangi mistrzowskiej charakteryzuje się międzynarodowym składem, w którym żadna z reprezentacji narodowych nie wykazuje wyraźnej dominacji w rozkładzie obserwacji. Informacja o kraju reprezentowanym przez zawodnika pełni w tym przypadku funkcję opisu struktury zebranego materiału badawczego. W niniejszej pracy zmienna ta nie była traktowana jako główny czynnik w analizie pacingu.

Tabela 8. Liderzy liczby obserwacji w materiale badawczym w poszczególnych dystansach.

Dystans	Liczba zawodników	Lider / liderzy	Kraj	Liczba obserwacji	Udział w dystansie [%]	Kolejni najwyżej reprezentowani zawodnicy
100 m	312	Brent Hayden; P. V. D. Hoogenband	CAN / NDL	9	2,88	F. Magnini, N. Nemeth, N. Adrian — po 8; 2,56%
200 m	311	Paul Biedermann	GER	12	3,86	Duncan Scott, P. V. D. Hoogenband — po 8; 2,57%
400 m	303	Ryan Cochrane	CAN	10	3,30	Felix Auboeck, Gabriele Detti — po 9; 2,97%
800 m	199	Gregorio Paltrinieri	ITA	14	7,04	Mykhaylo Romanchuk — 9; 4,52%
1500 m	303	Gregorio Paltrinieri	ITA	14	4,62	Ryan Cochrane — 13; 4,29%

Liderów liczby obserwacji w materiale badawczym w poszczególnych dystansach przedstawiono w Tabeli 8. Analiza wykazała zróżnicowanie liczby obserwacji w zależności od konkurencji. Na dystansie 100 m największą liczbę obserwacji odnotowano dla Brenta Haydena oraz Pietera van den Hoogenbanda, których wyniki stanowiły po 2,88% materiału dla tej konkurencji. Na dystansie 200 m najczęściej reprezentowany był Paul Biedermann,

z udziałem 3,86%. W konkurencji 400 m największą liczbę obserwacji odnotowano dla Ryana Cochrane'a, natomiast w konkurencjach 800 i 1500 m dla Gregoria Paltrinieriego. Najwyższy udział pojedynczego zawodnika wystąpił na dystansie 800 m, gdzie obserwacje Gregoria Paltrinieriego stanowiły 7,04% materiału dla tej konkurencji.

Zestawienie to opisuje strukturę materiału badawczego w obrębie poszczególnych dystansów pływackich. Rozkład najczęściej reprezentowanych zawodników odpowiada ich specjalizacji startowej (konkurencje sprinterskie, średnio- i długodystansowe). Odmienna struktura podmiotowa w poszczególnych konkurencjach stanowi uwarunkowanie metodologiczne, które uwzględniono w procesie analizy strategii pacingu.

Tabela 9. Liderzy liczby obserwacji według kraju/reprezentacji w poszczególnych dystansach.

Dystans	Liczba zawodników	Najczęściej reprezentowany kraj	Liczba obserwacji	Udział w dystansie [%]	Kolejne kraje
100 m	312	Australia	43	13,78	USA — 33, 10,58%; Francja — 30, 9,62%
200 m	311	Wielka Brytania	47	15,11	Australia — 38, 12,22%; USA — 35, 11,25%
400 m	303	Australia	39	12,87	USA — 33, 10,89%; Wielka Brytania — 30, 9,90%;
800 m	199	Włochy	30	15,08	USA — 24, 12,06%; Ukraina i Australia — po 16, 8,04%
1500 m	303	USA	38	12,54	Włochy — 34, 11,22%; Wielka Brytania — 28, 9,24%

Liderów liczby obserwacji według kraju lub reprezentacji w poszczególnych dystansach przedstawiono w Tabeli 9. Analiza wykazała, że struktura materiału badawczego różniła się w zależności od konkurencji. Na dystansie 100 m największy udział miała Australia, której zawodnicy odpowiadali za 43 obserwacje, co stanowiło 13,78% materiału dla tej konkurencji. Na dystansie 200 m najliczniej reprezentowana była Wielka Brytania, natomiast na dystansie 400 m ponownie Australia. W konkurencji 800 m największy udział miały Włochy, a na dystansie 1500 m Stany Zjednoczone.

Odnotowane zróżnicowanie wskazuje na brak jednostronnej dominacji pojedynczych reprezentacji narodowych we wszystkich analizowanych konkurencjach. Zmiany w udziale procentowym poszczególnych krajów na przestrzeni dystansów od 100 do 1500 m odzwierciedlają międzynarodowy profil sportowy badanej populacji finalistów. Dane te służą wyłącznie celom opisowym, umożliwiając szczegółową identyfikację struktury geograficznej zebranego materiału badawczego w odniesieniu do specyfiki danej konkurencji pływackiej.

Tabela 10. Liczba analizowanych międzyczasów 50-metrowych w materiale badawczym.

Dystans	Liczba analizowanych wyników / startów	Liczba odcinków 50 m w jednym starcie	Łączna liczba analizowanych odcinków 50 m	Udział w liczbie wszystkich odcinków [%]
100 m	312	2	624	3,77
200 m	311	4	1244	7,51
400 m	303	8	2424	14,63
800 m	199	16	3184	19,22
1500 m	303	30	9090	54,87
Razem	1428	—	16566	100,00

Liczbę analizowanych międzyczasów 50-metrowych w materiale badawczym przedstawiono w Tabeli 10. Łącznie analizie poddano 1428 wyników startowych, które po podziale na odcinki 50-metrowe dały 16 566 pomiarów międzyczasów. Podział każdego startu na segmenty 50 m umożliwił bardziej szczegółową charakterystykę przebiegu rywalizacji na poszczególnych dystansach.

Największy udział w strukturze analizowanych międzyczasów miały pomiary pochodzące z dystansu 1500 m, które stanowiły 54,87% wszystkich analizowanych odcinków. Wynikało to z największej liczby segmentów 50-metrowych przypadających na jeden start w tej konkurencji. Znaczną część materiału stanowiły również międzyczasy z dystansów długich, co było związane ze specyfiką konkurencji 800 i 1500 m.

Zastosowane ujęcie metodologiczne miało na celu uwzględnienie zmian tempa w kolejnych fazach rywalizacji, a nie wyłącznie końcowego wyniku sportowego. Rejestracja parametrów na odcinkach 50-metrowych stanowi podstawę do identyfikacji fluktuacji prędkości startowej oraz różnic w strategiach pacingowych pomiędzy poszczególnymi dystansami. Wysoka liczebność próbki w konkurencjach długodystansowych (800 m i 1500 m) istotnie zwiększa zasób danych empirycznych wykorzystanych do szczegółowej charakterystyki rozkładu sił w tych dyscyplinach.

Tabela 11. Profil dystansowy zawodników o największej liczbie obserwacji w materiale badawczym.

M.	Zawodnik	Razem	Liczba dystansów	Dominujący dystans	Obserwacje na domin. dyst.	Udział domin. dystansu [%]	Domin. grupa dystansowa
1	Ryan Cochrane	30	3	1500 m	13	43,33	długie
2	Gregorio Paltrinieri	28	2	800/1500 m	14/14	50,00	długie
3	Yang Sun	22	4	400 m	7	31,82	średnie
4	Mykhaylo Romanchuk	21	3	1500 m	11	52,38	długie
5	Gabriele Detti	20	3	400 m	9	45,00	długie
6	Grant Hackett	19	4	400/1500 m	6/6	31,58	średnie
7	Mackenzie Horton	18	4	400 m	8	44,44	średnie
8	Tae-Hwan Park	18	3	400 m	8	44,44	średnie
9	Yuriy Prilukov	18	3	400/1500 m	8/8	44,44	długie
10	Henrik Christiansen	17	3	1500 m	7	41,18	długie

Profil dystansowy zawodników o największej liczbie obserwacji w materiale badawczym przedstawiono w Tabeli 11. Analiza wykazała, że większość najczęściej reprezentowanych pływaków startowała przede wszystkim na dystansach średnich i długich.

Najbardziej wyraźny profil długodystansowy dotyczył Gregoria Paltrinieriego, Mykhayla Romanchuka oraz Henrika Christiansena, których obserwacje koncentrowały się głównie na dystansach 800 i 1500 m. Z kolei Ryan Cochrane, Gabriele Detti, Grant Hackett, Mackenzie Horton i Yuriy Prilukov reprezentowali profil średnio-długodystansowy, obejmujący zarówno dystans 400 m, jak i konkurencje 800 oraz 1500 m.

Uzyskany rozkład odzwierciedla tendencję do łączenia startów w pokrewnych konkurencjach średnio- i długodystansowych przez czołowych zawodników. Struktura ta wynika ze specyfiki materiału badawczego, w którym multidyscyplinarność pływaków w obrębie bloku dystansów długich (400–1500 m) naturalnie generuje większą skumulowaną liczbę obserwacji startowych w porównaniu do konkurencji sprinterskich.

Tabela 12. Struktura materiału badawczego według typu dystansu oraz liczby analizowanych odcinków 50-metrowych.

Typ dystansu	Dystanse	Liczba startów [N]	Udział w liczbie startów [%]	Liczba analizowanych odcinków 50 m	Udział w liczbie odcinków 50 m [%]
Sprinterskie	100 m	312	21,85	624	3,77
Średnie	200–400 m	614	43,00	3 668	22,14
Długie	800–1500 m	502	35,15	12 274	74,09
Razem	100–1500 m	1428	100	16 566	100

Strukturę materiału badawczego według typu dystansu oraz liczby analizowanych odcinków 50-metrowych przedstawiono w Tabeli 12. Podział materiału według typu dystansu wykazał, że największą liczbę analizowanych startów stanowiły konkurencje średniodystansowe, obejmujące dystanse 200 i 400 m. Łącznie uwzględniono w nich 614 startów, co odpowiadało 43,00% całego materiału badawczego. Konkurencje długodystansowe, obejmujące 800 i 1500 m, stanowiły 502 starty, czyli 35,15% analizowanych wyników, natomiast dystans sprinterski 100 m obejmował 312 startów, co odpowiadało 21,85% materiału.

Odmienną strukturę uzyskano po uwzględnieniu liczby międzyczasów 50-metrowych. Chociaż konkurencje długodystansowe nie stanowiły największej części materiału pod względem liczby startów, wygenerowały największą liczbę odcinków 50 m. Łącznie na dystansach 800 i 1500 m analizie poddano 12 274 międzyczasy, co stanowiło 74,09% wszystkich odcinkowych pomiarów czasu. Konkurencje średniodystansowe odpowiadały za 3668 odcinków, czyli 22,14%, natomiast dystans 100 m za 624 odcinki, czyli 3,77% wszystkich analizowanych międzyczasów.

Odnotowane zróżnicowanie strukturalne wynika bezpośrednio z przyjętej jednostki analizy. W ujęciu liczby startów największym udziałem charakteryzowały się konkurencje średniodystansowe, natomiast w odniesieniu do liczby odcinków 50-metrowych dominowały dystanse długie, co jest konsekwencją większej liczby segmentów rejestrowanych podczas pojedynczego wyścigu na 800 m i 1500 m. W rezultacie materiał z konkurencji długodystansowych dostarczył większej liczby empirycznych punktów pomiarowych, co stanowi uwarunkowanie metodologiczne dla szczegółowej oceny fluktuacji tempa w kolejnych fazach rywalizacji.

Tabela 13. Stopień koncentracji obserwacji w analizowanej grupie zawodników.

Grupa zawodników	Liczba zawodników	Liczba obserwacji	Udział w całym materiale [%]	Średnia liczba obserwacji na zawodnika
TOP 10 najczęściej analizowanych zawodników	10	211	14,78	21,10
Zawodnicy z miejsc 11–30	20	256	17,93	12,80
TOP 30 łącznie	30	467	32,70	15,57
Pozostali zawodnicy	354	961	67,30	2,71
Razem	384	1428	100	3,72

Stopień koncentracji obserwacji w analizowanej grupie zawodników przedstawiono w Tabeli 13. Analiza wykazała, że 10 najczęściej reprezentowanych zawodników odpowiadało za 211 obserwacji, co stanowiło 14,78% całego materiału badawczego. Po rozszerzeniu tej grupy do 30 zawodników liczba obserwacji wzrosła do 467, czyli 32,70% wszystkich analizowanych wyników.

Uzyskany wskaźnik koncentracji potwierdza, że zawodnicy o najwyższej częstości startów nie zdominowali struktury całej próby, jako że pozostała część populacji odpowiadała za 67,30% zgromadzonych obserwacji. Taki rozkład empiryczny odzwierciedla dwoisty charakter zebranego materiału badawczego: z jednej strony uwzględnia on stabilność startową grupy elitarnych pływaków regularnie kwalifikujących się do wyścigów finałowych, z drugiej zaś zapewnia szeroki przekrój pozostałych uczestników rywalizacji olimpijskiej i mistrzowskiej. W konsekwencji sformułowane w dysertacji wnioski dotyczące strategii pacingowych nie są obarczone błędem jednostronnej koncentracji danych wokół liderów zestawienia, lecz charakteryzują ogólne prawidłowości rywalizacji na poziomie elitarnym.

Tabela 14. Stopień koncentracji obserwacji według kraju/reprezentacji.

Grupa reprezentacji	Liczba reprezentacji	Liczba obserwacji	Udział w materiale [%]
TOP 5 Reprezentacji	5	668	46,78
TOP 10 reprezentacji	10	964	67,51
TOP 30 reprezentacji	30	1374	96,22
Pozostałe reprezentacje	24	54	3,78
Razem	54	1428	100

Stopień koncentracji obserwacji według kraju lub reprezentacji przedstawiono w Tabeli 14. Analiza wykazała, że pięć najczęściej reprezentowanych państw odpowiadało za 668 obserwacji, co stanowiło 46,78% całego materiału badawczego. Po rozszerzeniu zestawienia do dziesięciu reprezentacji udział ten wzrósł do 67,51%.

Uzyskana struktura danych odzwierciedla specyfikę globalnego sportu kwalifikowanego, w którym dominująca część miejsc finałowych przypada reprezentantom wiodących ośrodków pływackich na świecie. Jednocześnie obecność zawodników z 54 różnych państw potwierdza szeroki, międzynarodowy przekrój zebranego materiału badawczego. Analizowany zbiór danych łączy zatem cechy koncentracji wokół krajów o najwyższym poziomie usportowienia z wysokim stopniem zróżnicowania geograficznego całej populacji finalistów, co zapewnia reprezentatywność próby w skali globalnej.

5.2. Metody analizy danych

Zgromadzone dane, po ich wstępnym uporządkowaniu w arkuszu kalkulacyjnym Excel, poddano analizie statystycznej z wykorzystaniem specjalistycznych pakietów Statistica 13.3 oraz Jamovi 2.4.14, co umożliwiło przeprowadzenie kompleksowej obróbki danych oraz rzetelnej weryfikacji zależności statystycznych. Dla całego procesu analitycznego przyjęto poziom istotności statystycznej $\alpha = 0,05$, co pozwala na wnioskowanie przy akceptowalnym poziomie ryzyka błędu I rodzaju. W celu odpowiedzi na postawione pytania badawcze zastosowano analizę wariancji z powtarzanymi pomiarami (ANOVA), która umożliwia ocenę różnic między kolejnymi odcinkami dystansów, uwzględniając strukturę danych powiązanych. W przypadku braku sferyczności danych wyniki opatrzono korektą Greenhouse-Geissera. Wielkości efektu dla analizy wariancji obliczono za pomocą częściowego eta kwadrat (η_p^2) i interpretowano następująco: $0 \leq \eta_p^2 < 0,05$ – brak efektu; $0,05 \leq \eta_p^2 < 0,26$ – efekt minimalny; $0,26 \leq \eta_p^2 < 0,64$ – efekt umiarkowany; $\eta_p^2 \geq 0,64$ – efekt silny (Ferguson, 2009).

W przypadku wykrycia istotnych różnic zastosowano szczegółowe porównania post-hoc z korektą Bonferroniego, która minimalizuje ryzyko błędu typu I w warunkach wielokrotnych testów. Dzięki temu zapewniono większą precyzję interpretacji wyników oraz wiarygodność wyciąganych wniosków. Ponadto, w celu oceny związków między zmiennymi wynikowymi zastosowano ogólne modele liniowe (GLM), które umożliwiły modelowanie zarówno

zależności liniowych, jak i nieliniowych, co pozwala na bardziej kompleksową analizę struktury danych oraz ich potencjalnych wzorców.

W szczególności, w ramach analizy związanej z rozkładem tempa pływaków na analizowanych dystansach, obliczono współczynniki opisujące zmiany tempa na różnych odcinkach. Dane te następnie poddano ocenie związku z uzyskanymi wynikami na poszczególnych dystansach, wykorzystując współczynnik korelacji liniowej Pearsona (r), do oceny siły i kierunku relacji oraz współczynnik determinacji (R^2) w celu określenia, jaka część zmienności wyników może być wyjaśniona przez analizowane zmienne predyktory. Wielkości współczynników korelacji interpretowano zgodnie z przyjętą klasyfikacją siły związku: 0,00–0,30 – korelacja słaba; 0,31–0,50 – korelacja umiarkowana; 0,51–0,70 – korelacja silna; 0,71–1,00 – korelacja bardzo silna (Ścibor-Rylski, 2013).

Szczegółowe wyniki analizy opisowej wszystkich zmierzonych parametrów przedstawiono w Załączniku 1 – w formie Aneksu. Opracowanie to pozwala na przejrzystą i kompleksową prezentację danych, ułatwiając ich interpretację oraz weryfikację hipotez badawczych.

Badania wykorzystane w niniejszej rozprawie doktorskiej zostały zrealizowane w ramach projektu badawczego, który uzyskał pozytywną opinię Uczelnianej Komisji Bioetycznej ds. Badań Naukowych przy Akademii Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach. Zgoda została wydana uchwałą nr 10-XII/2024 z dnia 5 grudnia 2024 roku i dotyczyła projektu pt. „Modelowanie i ocena efektywności elementów wyścigu pływackiego (start, nawrót, pływanie stylowe) w oparciu o analizę kinematyczną oraz krótko- i długotrwałe interwencje treningowe zawodników sportów wodnych o różnym poziomie zaawansowania”.

Analiza przeprowadzona w niniejszej rozprawie miała charakter retrospektywny i została oparta wyłącznie na wtórnym opracowaniu ogólnodostępnych danych sportowych. Materiał badawczy stanowiły oficjalnie opublikowane wyniki końcowe oraz międzyczasy zawodników startujących w finałach zawodów rangi międzynarodowej. Dane pochodziły z oficjalnych baz wyników, komunikatów zawodów oraz archiwów organizacji sportowych.

Badanie nie obejmowało bezpośredniego udziału zawodników, kontaktu z uczestnikami, interwencji treningowej ani medycznej prowadzonej na potrzeby niniejszej analizy. Nie pozyskiwano również materiału biologicznego ani danych wrażliwych bezpośrednio od zawodników. Wykorzystane informacje miały charakter danych wynikowych, opublikowanych w ramach oficjalnej dokumentacji sportowej.

Zastosowany sposób opracowania danych polegał na analizie wyników historycznych oraz ich przetworzeniu na potrzeby oceny struktury wyścigu i strategii pacingowych. W związku z tym niniejsza część badań miała charakter nieinterwencyjny, obserwacyjny i analityczny.

6. Wyniki

6.1. Różnice w rozkładzie tempa

Zebrane wyniki poddano analizie różnic za pomocą analizy wariancji z powtarzanym pomiarem. Dla każdego dystansu przeprowadzono odrębną analizę, wykorzystując również testy porównań parami z poprawką Bonferroniego. Wyniki przedstawiono w tabelach oraz na wykresach, które dodatkowo ukazują rozkład wyników uzyskanych przez pływaków.

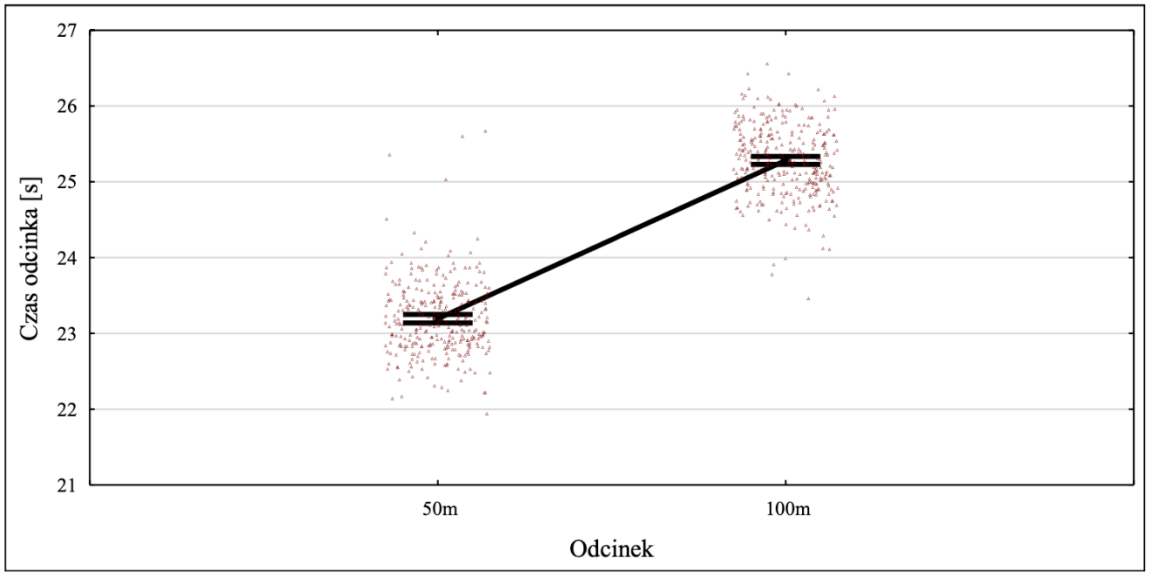
Analiza wariancji dla dystansu 100 metrów ujawniła istotne statystycznie różnice między wyróżnionymi odcinkami, $F_{(1,311)} = 2913{,}75$; $p < 0{,}001$; $\eta_p^2 = 0{,}90$. Zaobserwowany efekt był bardzo silny. Tabela 15 poniżej zawiera podsumowanie analizy porównań wielokrotnych post-hoc przeprowadzonej między wyróżnionymi odcinkami dystansu 100 m.

Tabela 15. Analiza porównań parami odcinków dystansu 100 metrów.

Pomiar		$M \pm SD$		Istotność porównań post hoc Bonferroniego [p] Wielkość efektu Cohena [d]	
				1	2
50m	1	23,20	0,50	—	
100m	2	25,28	0,47	**<0,001** **3,01**	—

Adnotacja. Analizy przeprowadzona dla liczby obserwacji $N = 312$.

Przeprowadzone analizy wykazały, że czas uzyskany na pierwszym odcinku 50 metrów był istotnie krótszy niż na drugim, co ilustruje wykres 2. Oznacza to, że początkowa faza dystansu 100 metrów charakteryzowała się wyższą prędkością pływania w porównaniu z jego drugą częścią.



Wykres 2. Średnie wyniki i rozrzut wewnętrzny odcinków dystansu 100 metrów.

Podobnej ocenie z wykorzystaniem analizy wariancji poddano dystans 200 metrów. W ocenie zastosowano korektę Greenhouse-Geissera z uwagi na brak sferyczności danych, którego szczegóły przedstawiono w załączniku 2. Analiza wykazała istotne statystycznie różnice między wyróżnionymi odcinkami oraz bardzo silny efekt, $F_{(1,96;\ 608,57)} = 2441{,}40$; $p < 0{,}001$; $\eta_p^2 = 0{,}89$. Szczegółowe porównania parami przedstawiono w tabeli 16.

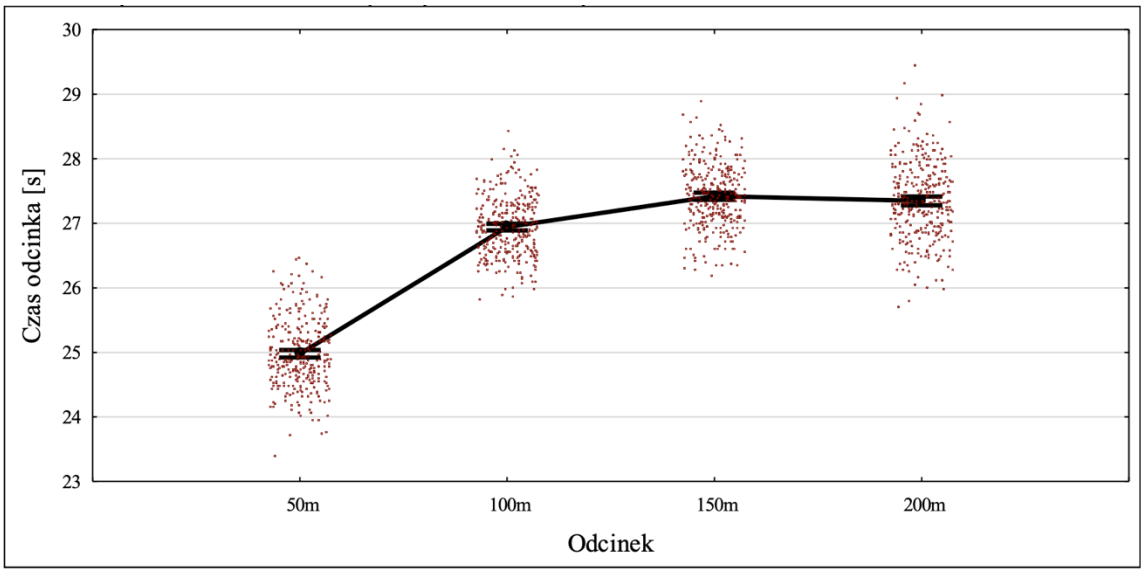
Tabela 16. Analiza porównań parami odcinków dystansu 200 metrów.

Pomiar		$M \pm SD$		Istotność porównań post hoc Bonferroniego [p] Wielkość efektu Cohena [d]			
				1	2	3	4
50m	1	24,98	0,53	—			
100m	2	26,94	0,46	**<0,001** **4,65**	—		
150m	3	27,42	0,49	**<0,001** **4,30**	**<0,001** **1,25**	—	
200m	4	27,35	0,61	**<0,001** **2,99**	**<0,001** **0,62**	0,172 0,13	—

Adnotacja. Analizy przeprowadzona dla liczby obserwacji $N = 311$.

Przeprowadzona analiza wykazała, że zawodnicy uzyskali istotnie krótszy czas na pierwszym odcinku 50 metrów w porównaniu z pozostałymi segmentami dystansu. Na drugim odcinku również odnotowano istotnie krótszy czas w porównaniu z dwoma końcowymi odcinkami.

Nie stwierdzono natomiast istotnych różnic pomiędzy trzecim a czwartym odcinkiem. Czasy uzyskane na tych segmentach były jednak istotnie dłuższe niż na dwóch pierwszych. Jak przedstawiono na wykresie 3, w pierwszej połowie dystansu uzyskano istotnie krótsze czasy niż w jego drugiej części.



Wykres 3. Średnie wyniki i rozrzut wewnętrzny odcinków dystansu 200 metrów.

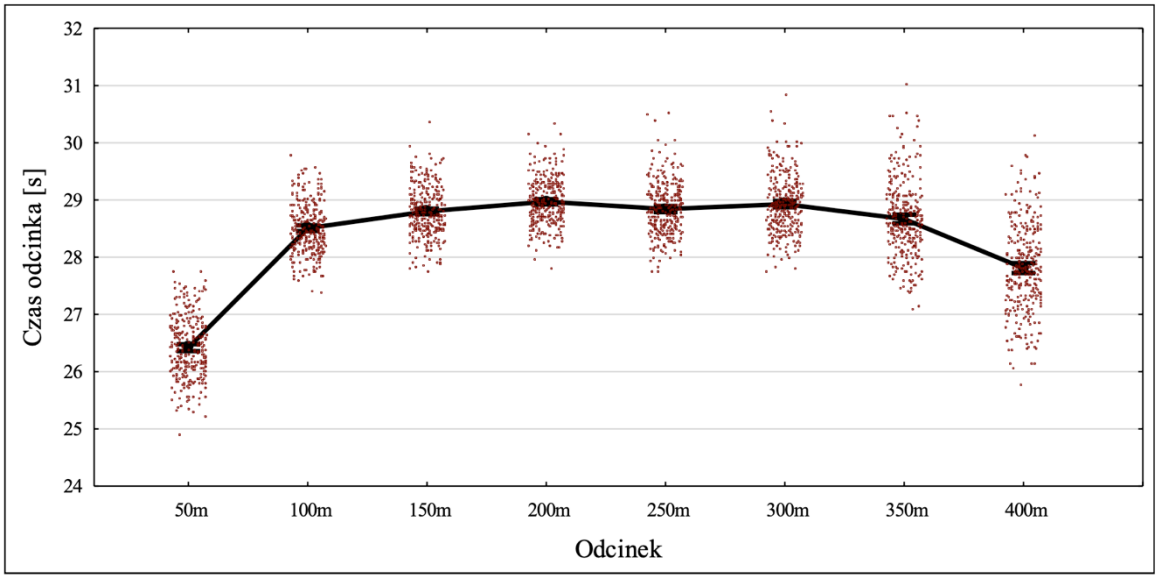
Wyniki badań dystansu 400 metrów wykazują istotne statystycznie różnice między odcinkami, $F_{(2,97;\ 897,77)} = 1518,3$; $p < 0,001$; $\eta_p^2 = 0,83$. W analizie tego dystansu również zastosowano poprawkę Greenhouse'a-Geissera z powodu braku sferyczności danych. Zaobserwowany efekt był bardzo silny. Szczegółowe porównania parami pomiędzy poszczególnymi odcinkami dystansu 400 metrów przedstawiono w tabeli 17.

Tabela 17. Analiza porównań parami odcinków dystansu 400 metrów.

Pomiar		$M \pm SD$		Istotność porównań post hoc Bonferroniego [p] Wielkość efektu Cohena [d]							
				1	2	3	4	5	6	7	8
50m	1	26,42	0,53	—							
100m	2	28,51	0,45	**<0,001** **5,09**	—						
150m	3	28,80	0,44	**<0,001** **5,00**	**<0,001** **0,98**	—					
200m	4	28,97	0,41	**<0,001** **4,77**	**<0,001** **1,40**	**<0,001** **0,57**	—				
250m	5	28,84	0,46	**<0,001** **4,32**	**<0,001** **0,78**	0,999 0,13	**0,002** **0,44**	—			
300m	6	28,93	0,50	**<0,001** **4,07**	**<0,001** **0,86**	**0,002** **0,26**	0,999 0,11	0,204 0,26	—		
350m	7	28,67	0,66	**<0,001** **3,10**	**<0,001** **0,25**	**0,001** **0,22**	**<0,001** **0,54**	**<0,001** **0,39**	**<0,001** **0,68**	—	
400m	8	27,81	0,76	**<0,001** **1,61**	**<0,001** **0,87**	**<0,001** **1,26**	**<0,001** **1,59**	**<0,001** **1,47**	**<0,001** **1,73**	**<0,001** **1,58**	—

Adnotacja. Analizy przeprowadzona dla liczby obserwacji $N = 303$.

Analiza wykazała, że na pierwszym odcinku dystansu zawodnicy uzyskali istotnie krótszy czas w porównaniu z pozostałymi segmentami. Czasy odnotowane na pierwszym i drugim odcinku były istotnie krótsze niż na wszystkich kolejnych odcinkach. Rozkład wyników wskazuje ponadto, że na dwóch ostatnich odcinkach (siódmym i ósmym) uzyskano krótsze czasy niż na odcinkach 3–6. Jednocześnie czasy na siódmym i ósmym odcinku pozostawały dłuższe niż na pierwszym i drugim. W obrębie odcinków 3–6 zaobserwowano mniejsze zróżnicowanie wyników, co potwierdza wykres 4.



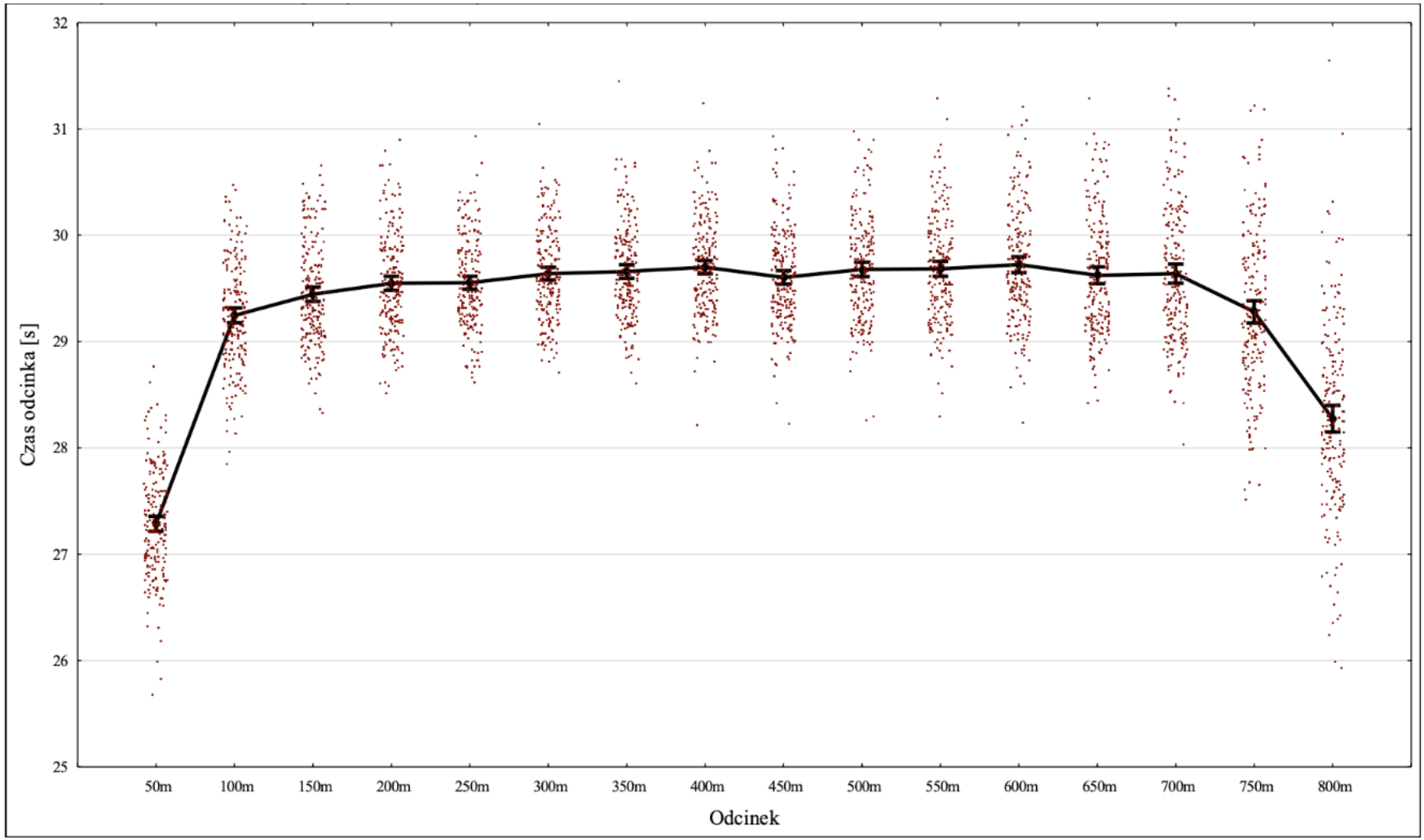
Wykres 4. Średnie wyniki i rozrzut wewnętrzny odcinków dystansu 400 metrów.

Kolejnym analizowanym dystansem był dystans 800 metrów. Ze względu na brak sferyczności danych wyniki analizy wariancji przedstawiono z zastosowaniem korekty Greenhouse'a-Geissera. Analiza wariancji wykazała istotne statystycznie różnice pomiędzy kolejnymi odcinkami, $F_{(3,75;\ 746,36)} = 647,203$; $p < 0,001$; $\eta_p^2 = 0,77$. Wielkość efektu wskazuje na bardzo silne zróżnicowanie wyników między segmentami dystansu. Szczegółowe wyniki porównań parami przedstawiono w tabeli 18, natomiast ich graficzną ilustrację zaprezentowano na wykresie 5.

Tabela 18. Analiza porównań parami odcinków dystansu 800 metrów.

Pomiar		*M* ± *SD*		Istotność porównań post hoc Bonferroniego [*p*] Wielkość efektu Cohena [*d*]															
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
50m	1	27,29	0,51	—															
100m	2	29,24	0,51	**<0,001** **5,27**	—														
150m	3	29,44	0,48	**<0,001** **5,44**	**<0,001** **0,60**	—													
200m	4	29,55	0,47	**<0,001** **5,02**	**<0,001** **1,05**	0,587 0,36	—												
250m	5	29,55	0,44	**<0,001** **4,94**	**<0,001** **0,74**	0,363 0,43	0,999 0,02	—											
300m	6	29,64	0,43	**<0,001** **5,00**	**<0,001** **1,13**	**<0,001** **0,59**	0,999 0,45	0,999 0,32	—										
350m	7	29,66	0,45	**<0,001** **5,00**	**<0,001** **0,93**	**<0,001** **0,70**	0,249 0,35	0,409 0,54	0,999 0,08	—									
400m	8	29,70	0,45	**<0,001** **4,99**	**<0,001** **1,21**	**<0,001** **0,72**	**0,003** **0,58**	**0,007** **0,48**	0,999 0,31	0,999 0,16	—								
450m	9	29,60	0,46	**<0,001** **4,54**	**<0,001** **0,73**	**0,002** **0,42**	0,999 0,14	0,999 0,17	0,999 0,10	0,999 0,25	0,957 0,35	—							
500m	10	29,68	0,49	**<0,001** **4,48**	**<0,001** **0,96**	**<0,001** **0,52**	**0,037** **0,36**	0,065 0,31	0,999 0,13	0,999 0,06	0,999 0,09	0,999 0,26	—						
550m	11	29,68	0,50	**<0,001** **4,38**	**<0,001** **0,84**	**<0,001** **0,52**	**0,021** **0,31**	**0,038** **0,33**	0,999 0,12	0,999 0,07	0,999 0,05	0,999 0,33	0,999 0,02	—					
600m	12	29,72	0,54	**<0,001** **4,22**	**<0,001** **0,94**	**<0,001** **0,55**	**<0,001** **0,40**	**<0,001** **0,37**	0,999 0,22	0,999 0,15	0,999 0,08	0,119 0,35	0,999 0,19	0,999 0,16	—				
650m	13	29,62	0,56	**<0,001** **3,80**	**<0,001** **0,65**	**<0,001** **0,33**	0,999 0,15	0,999 0,15	0,999 0,03	0,999 0,09	0,999 0,19	0,999 0,06	0,999 0,15	0,999 0,23	0,732 0,34	—			
700m	14	29,64	0,64	**<0,001** **3,52**	**<0,001** **0,64**	**<0,001** **0,30**	0,999 0,16	0,999 0,14	0,999 0,00	0,999 0,04	0,999 0,12	0,999 0,07	0,999 0,09	0,999 0,11	0,999 0,26	0,999 0,04	—		
750m	15	29,28	0,75	**<0,001** **2,58**	0,999 0,04	**<0,001** **0,22**	**<0,001** **0,38**	**<0,001** **0,39**	**<0,001** **0,53**	**<0,001** **0,57**	**<0,001** **0,66**	**<0,001** **0,53**	**<0,001** **0,67**	**<0,001** **0,76**	**<0,001** **0,87**	**<0,001** **0,76**	**<0,001** **0,87**	—	
800m	16	28,27	0,90	**<0,001** **1,07**	**<0,001** **1,10**	**<0,001** **1,26**	**<0,001** **1,50**	**<0,001** **1,43**	**<0,001** **1,62**	**<0,001** **1,58**	**<0,001** **1,74**	**<0,001** **1,56**	**<0,001** **1,69**	**<0,001** **1,68**	**<0,001** **1,83**	**<0,001** **1,66**	**<0,001** **1,84**	**<0,001** **1,58**	—

Adnotacja. Analizy przeprowadzona dla liczby obserwacji N = 199



Wykres 5. Średnie wyniki i rozrzut wewnętrzny odcinków dystansu 800 metrów.

Analiza wyników wykazała, że na pierwszym odcinku dystansu 800 metrów zawodnicy uzyskali istotnie krótszy czas w porównaniu z pozostałymi segmentami. Na ostatnim odcinku uzyskano istotnie krótszy czas niż na odcinkach 2–15, przy czym tylko pierwszy odcinek był istotnie krótszy od odcinka ostatniego. Na drugim oraz czternastym (przedostatnim) odcinku uzyskano istotnie krótsze czasy niż na odcinkach 3–13, natomiast między nimi nie stwierdzono istotnych różnic. Większość porównań pomiędzy odcinkami 3–13 nie wykazała istotnych różnic w czasie ich pokonania. Na wykresie 5 widoczny jest stopniowy wzrost czasów uzyskiwanych na odcinkach 3–13 dystansu 800 metrów.

Ostatnim analizowanym dystansem był dystans 1500 metrów. Wyniki przedstawiono z zastosowaniem korekty Greenhouse'a-Geissera ze względu na brak sferyczności danych. Analiza wariancji wykazała istotne statystycznie różnice pomiędzy kolejnymi odcinkami, $F_{(4,57;\ 1378,82)} = 721,04$; $p < 0,001$; $\eta_p^2 = 0,71$, co wskazuje na bardzo silne zróżnicowanie wyników pomiędzy segmentami dystansu. Szczegółowe różnice między kolejnymi odcinkami przedstawiono w tabeli 19. Wykres 6 ilustruje natomiast rozkład indywidualnych wyników uzyskanych na poszczególnych odcinkach dystansu 1500 metrów.

Szczegółowe porównania wykazały, że zawodnicy uzyskali istotnie krótsze czasy na pierwszym i drugim odcinku w porównaniu z pozostałymi segmentami dystansu. Pomiędzy tymi dwoma odcinkami odnotowano istotną różnicę, przy czym najkrótszy czas uzyskano na pierwszym odcinku. W końcowej fazie dystansu zawodnicy osiągnęli istotnie krótsze czasy niż na większości odcinków środkowych, z wyjątkiem pierwszego i drugiego. W obrębie odcinków od trzeciego do dwudziestego ósmego zaobserwowano relatywnie mniejsze zróżnicowanie czasów. Wyniki wskazują na stopniowy wzrost czasów uzyskiwanych w środkowej części dystansu 1500 metrów. W pierwszej połowie dystansu nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy kolejnymi segmentami, przy jednoczesnym uzyskiwaniu krótszych czasów niż w drugiej połowie dystansu.

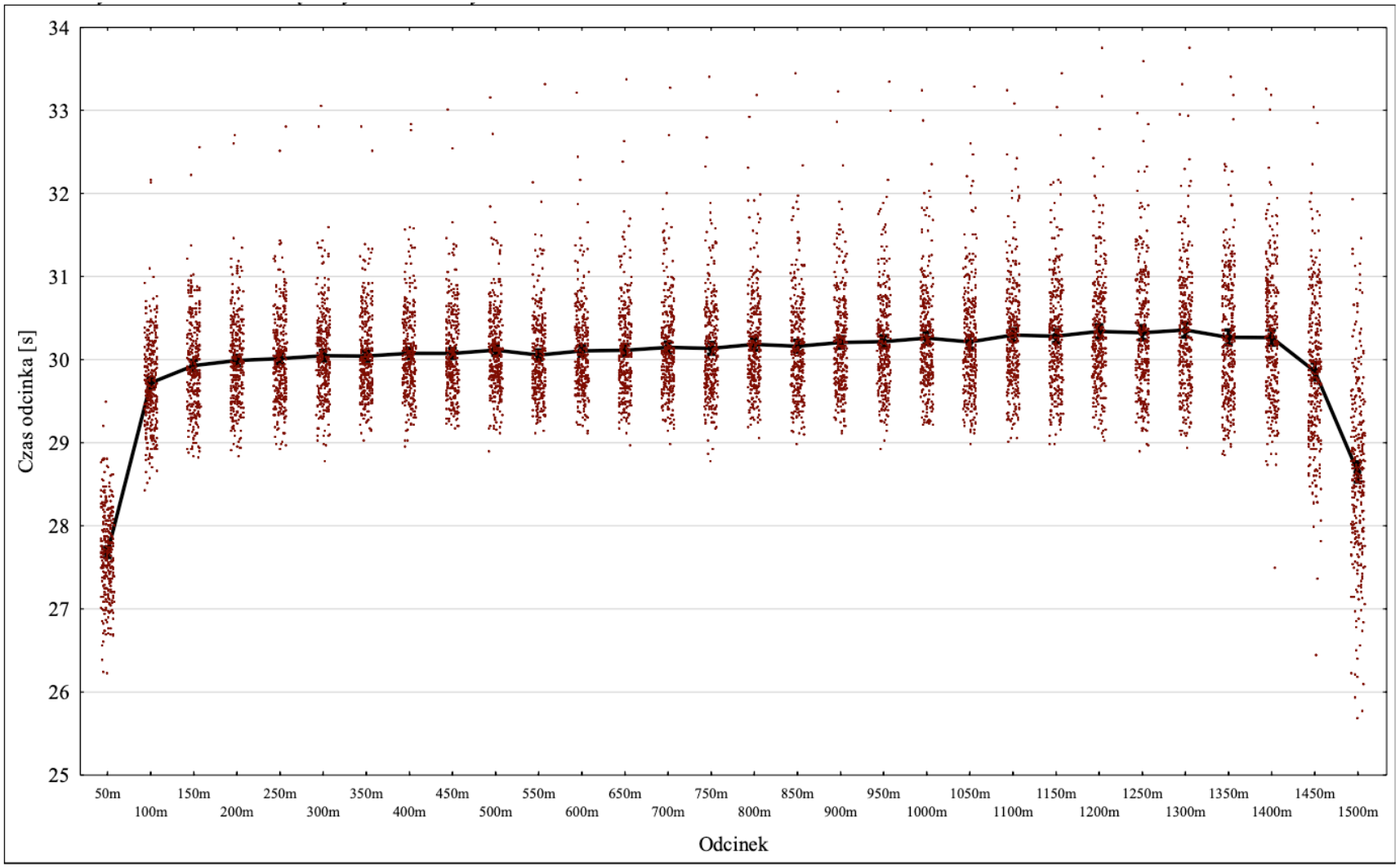
Tabela 19. Analiza porównań parami odcinków dystansu 1500 metrów.

Pomiar		*M* ± *SD*		Istotność porównań post hoc Bonferroniego [*p*] Wielkość efektu Cohena [*d*]														
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
50m	1	27,68	0,53	–														
100m	2	29,72	0,55	**<0,001** **5,47**	–													
150m	3	29,93	0,57	**<0,001** **5,23**	**<0,001** **0,64**	–												
200m	4	29,99	0,55	**<0,001** **4,97**	**<0,001** **0,91**	0,999 0,22	–											
250m	5	30,01	0,55	**<0,001** **5,00**	**<0,001** **0,77**	0,999 0,36	0,999 0,09	–										
300m	6	30,05	0,55	**<0,001** **4,84**	**<0,001** **0,95**	**0,011** **0,34**	0,999 0,27	0,999 0,12	–									
350m	7	30,04	0,53	**<0,001** **5,00**	**<0,001** **0,83**	**0,022** **0,40**	0,999 0,18	0,999 0,15	0,999 0,02	–								
400m	8	30,08	0,54	**<0,001** **4,85**	**<0,001** **0,95**	**<0,001** **0,42**	0,878 0,33	0,999 0,22	0,999 0,15	0,999 0,15	–							
450m	9	30,07	0,54	**<0,001** **4,78**	**<0,001** **0,81**	**<0,001** **0,44**	0,999 0,24	0,999 0,25	0,999 0,09	0,999 0,18	0,999 0,01	–						
500m	10	30,11	0,55	**<0,001** **4,73**	**<0,001** **0,97**	**<0,001** **0,48**	**0,004** **0,41**	0,133 0,32	0,999 0,27	0,999 0,27	0,999 0,20	0,999 0,16	–					
550m	11	30,06	0,54	**<0,001** **4,59**	**<0,001** **0,73**	**0,003** **0,33**	0,999 0,17	0,999 0,14	0,999 0,03	0,999 0,05	0,999 0,07	0,999 0,09	0,999 0,21	–				
600m	12	30,11	0,55	**<0,001** **4,60**	**<0,001** **0,88**	**<0,001** **0,43**	**0,015** **0,35**	0,426 0,27	0,999 0,21	0,999 0,21	0,999 0,13	0,999 0,11	0,999 0,05	0,999 0,19	–			
650m	13	30,11	0,59	**<0,001** **4,46**	**<0,001** **0,81**	**<0,001** **0,44**	**0,005** **0,30**	0,179 0,29	0,999 0,17	0,999 0,24	0,999 0,12	0,999 0,16	0,999 0,01	0,999 0,29	0,999 0,03	–		
700m	14	30,15	0,58	**<0,001** **4,45**	**<0,001** **0,92**	**<0,001** **0,50**	**<0,001** **0,43**	**0,001** **0,36**	0,147 0,32	0,082 0,31	0,999 0,26	0,999 0,23	0,999 0,14	0,479 0,31	0,999 0,22	0,999 0,13	–	
750m	15	30,13	0,62	**<0,001** **4,27**	**<0,001** **0,83**	**<0,001** **0,48**	**<0,001** **0,34**	**0,006** **0,32**	0,743 0,22	0,441 0,28	0,999 0,17	0,999 0,21	0,999 0,06	0,999 0,31	0,999 0,10	0,999 0,12	0,999 0,05	–

Tabela 19 (cd.)

Pomiar		*M* ± *SD*		Istotność porównań post hoc Bonferroniego [*p*] Wielkość efektu Cohena [*d*]															
				15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
800m	16	30,18	0,61	0,999 0,19	–														
850m	17	30,16	0,62	0,999 0,13	0,999 0,08	–													
900m	18	30,21	0,61	0,999 0,25	0,999 0,11	0,999 0,17	–												
950m	19	30,22	0,62	0,999 0,34	0,999 0,11	0,999 0,26	0,999 0,04	–											
1000m	20	30,26	0,63	**0,004** **0,38**	0,999 0,31	0,203 0,34	0,999 0,27	0,999 0,16	–										
1050m	21	30,21	0,66	0,999 0,25	0,999 0,08	0,999 0,20	0,999 0,02	0,999 0,02	0,999 0,16	–									
1100m	22	30,29	0,67	**<0,001** **0,45**	**0,035** **0,38**	**0,001** **0,42**	0,675 0,35	0,999 0,26	0,999 0,17	0,999 0,30	–								
1150m	23	30,28	0,69	**<0,001** **0,42**	0,220 0,26	**0,008** **0,40**	0,999 0,22	0,999 0,23	0,999 0,07	0,999 0,32	0,999 0,05	–							
1200m	24	30,34	0,70	**<0,001** **0,49**	**<0,001** **0,44**	**<0,001** **0,47**	**0,001** **0,43**	**0,005** **0,33**	0,999 0,29	**0,003** **0,40**	0,999 0,21	0,999 0,20	–						
1250m	25	30,32	0,75	**<0,001** **0,44**	**<0,001** **0,30**	**<0,001** **0,41**	**0,012** **0,28**	0,061 0,29	0,999 0,17	**0,032** **0,35**	0,999 0,09	0,999 0,17	0,999 0,05	–					
1300m	26	30,36	0,75	**<0,001** **0,44**	**<0,001** **0,39**	**<0,001** **0,42**	**<0,001** **0,37**	**<0,001** **0,31**	0,238 0,27	**<0,001** **0,35**	0,999 0,20	0,999 0,21	0,999 0,07	0,999 0,10	–				
1350m	27	30,27	0,79	**0,001** **0,26**	0,999 0,16	0,065 0,23	0,999 0,13	0,999 0,11	0,999 0,02	0,999 0,13	0,999 0,07	0,999 0,04	0,999 0,19	0,999 0,20	0,672 0,26	–			
1400m	28	30,27	0,80	**0,002** **0,24**	0,999 0,16	0,093 0,20	0,999 0,13	0,999 0,10	0,999 0,01	0,999 0,11	0,999 0,08	0,999 0,04	0,999 0,21	0,999 0,14	0,495 0,29	0,999 0,01	–		
1450m	29	29,86	0,91	**<0,001** **0,39**	**<0,001** **0,45**	**<0,001** **0,46**	**<0,001** **0,52**	**<0,001** **0,56**	**<0,001** **0,63**	**<0,001** **0,58**	**<0,001** **0,71**	**<0,001** **0,73**	**<0,001** **0,80**	**<0,001** **0,85**	**<0,001** **0,86**	**<0,001** **0,84**	**<0,001** **0,76**	–	
1500m	30	28,65	1,08	**<0,001** **1,64**	**<0,001** **1,75**	**<0,001** **1,77**	**<0,001** **1,83**	**<0,001** **1,86**	**<0,001** **1,97**	**<0,001** **1,95**	**<0,001** **2,12**	**<0,001** **2,11**	**<0,001** **2,23**	**<0,001** **2,22**	**<0,001** **2,32**	**<0,001** **2,17**	**<0,001** **2,20**	**<0,001** **1,68**	–

Adnotacja. Analizy przeprowadzona dla liczby obserwacji N = 303.



Wykres 6. Średnie wyniki i rozrzut wewnętrzny odcinków dystansu 1500 metrów.

Analiza zróżnicowania pomiarów dla dystansów 100, 200, 400, 800 i 1500 metrów wykazała występowanie powtarzalnych wzorców rozkładu czasów. Wielkości efektów, choć bardzo silne we wszystkich analizach, wykazywały tendencję do stopniowego zmniejszania się wraz ze wzrostem długości dystansu. We wszystkich analizowanych konkurencjach odnotowano krótsze czasy w pierwszej połowie dystansu, przy czym najkrótsze czasy uzyskiwano na odcinkach początkowych. Wraz ze wzrostem długości dystansu obserwowano relatywne skrócenie czasów na odcinkach końcowych w porównaniu z odcinkami środkowymi, przy jednoczesnym utrzymaniu przewagi odcinków początkowych. Zależność ta była wyraźniejsza w analizach dystansów 400, 800 i 1500 metrów. Wykresy dla tych konkurencji wskazują na nieliniowy charakter zależności pomiędzy numerem odcinka a uzyskiwanym czasem. W konkurencjach dłuższych zaobserwowano również mniejsze zróżnicowanie czasów w obrębie środkowych segmentów dystansu, podczas gdy na dystansie 200 metrów zjawisko to było mniej wyraźne. W kolejnym etapie analizy zależności te zostaną poddane dalszej weryfikacji z wykorzystaniem analizy regresji.

6.2. Zależność między odcinkiem a czasem pokonania dystansu

Przedstawiona wcześniej analiza różnic wskazała na nieliniowy charakter zależności pomiędzy czasem uzyskiwanym na poszczególnych odcinkach a ich kolejnością, szczególnie w przypadku dłuższych dystansów. W celu formalnej weryfikacji tej zależności zastosowano ogólne modele liniowe (GLM), uwzględniające zarówno dopasowanie liniowe, jak i – w przypadku większej liczby odcinków – dopasowanie nieliniowe. W przeprowadzonej analizie zmienną niezależną był numer odcinka traktowany jako zmienna ilościowa, natomiast zmienną zależną – czas uzyskiwany na danym segmencie dystansu.

W tabeli 20 przedstawiono parametry modelu dla dystansu 100 metrów. Ze względu na ograniczoną liczbę odcinków w tej konkurencji nie było możliwe zastosowanie dopasowania nieliniowego. Ze względu na fakt, że analiza obejmowała dwa odcinki w obrębie dystansu 100 metrów, model liniowy odpowiadał estymacji różnicy pomiędzy tymi segmentami. W modelu nie uwzględniano składnika nieliniowego.

Tabela 20. Model oceny zależności liniowej odcinków dystansu 100 metrów z uzyskiwanym czasem odcinka.

F	*df*	*p*	R^2	Dopasowanie	*β*	*B*	*CL 95%*		*p*
							LL	*UL*	
2861,25	**1, 622**	**<0,001**	**0,82**	Liniowe	**0,91**	**2,09**	**2,01**	**2,16**	**<0,001**

Adnotacja. Analizy przeprowadzona dla liczby obserwacji $N = 624$.
F – wartość dopasowania modelu, *df* – stopnie swobody, *p* – istotność, R^2 – współczynnik determinacji, *β* – współczynnik standaryzowany, *B* – współczynnik niestandaryzowany, *CL* – przedział ufności, *LL* – dolny przedział, *UL* – górny przedział

Model regresji liniowej dla dystansu 100 metrów był istotny statystycznie ($F_{(1,622)} = 2861,25$; $p < 0,001$). Analizę przeprowadzono dla $N = 624$ obserwacji. Wartość współczynnika determinacji $R^2 = 0,82$ wskazuje, że 82% całkowitej zmienności czasów uzyskiwanych na analizowanych odcinkach zostało wyjaśnione przez zmienną objaśniającą, tj. kolejność odcinka (pierwszy vs. drugi). Oznacza to, że zmienna ta odpowiadała za zasadniczą część obserwowanej wariancji wyników, natomiast 18% zmienności pozostawało niewyjaśnione w ramach przyjętego modelu.

Współczynnik regresji dla składnika liniowego był dodatni i istotny statystycznie ($\beta = 0,91$; $B = 2,09$; 95% CI [2,01; 2,16]; $p < 0,001$). Wartość współczynnika niestandaryzowanego ($B = 2,09$) wskazuje, że drugi odcinek dystansu 50 metrów był średnio dłuższy o 2,09 jednostki czasu w porównaniu z pierwszym odcinkiem. Przedział ufności dla parametru regresji nie obejmował wartości zerowej, co potwierdza istotność analizowanego efektu.

Wartość współczynnika standaryzowanego ($\beta = 0,91$) wskazuje na silne zróżnicowanie czasu pomiędzy pierwszym a drugim odcinkiem w analizowanej próbie. Wysoka wartość statystyki F odzwierciedla znaczną różnicę pomiędzy wariancją wyjaśnianą przez model a wariancją resztową przy jednym stopniu swobody dla efektu i 622 stopniach swobody dla błędu.

Szczegółowe parametry modeli regresyjnych dla dystansu 200 metrów zestawiono w tabeli 21. W analizie tej uwzględniono model obejmujący składnik liniowy oraz model rozszerzony, w którym dodatkowo wprowadzono komponent nieliniowy numeru odcinka.

Tabela 21. Model oceny zależności liniowej i nieliniowej odcinków dystansu 200 metrów z uzyskiwanym czasem odcinka.

F	*df*	*p*	R^2	Dopasowanie	*β*	*B*	*CL 95%*		*p*
							LL	*UL*	
1643,21	**1, 1246**	**<0,001**	**0,57**	Liniowe	**0,75**	**0,76**	**0,72**	**0,79**	**<0,001**
2125,96	**2, 1245**	**<0,001**	**0,77**	Liniowe	**0,75**	**0,76**	**0,73**	**0,78**	**<0,001**
				Nieliniowe	**-0,57**	**-0,51**	**-0,54**	**-0,48**	**<0,001**

Adnotacja. Analizy przeprowadzona dla liczby obserwacji $N = 1244$.

F – wartość dopasowania modelu, *df* – stopnie swobody, *p* – istotność, R^2 – współczynnik determinacji, *β* – współczynnik standaryzowany, *B* – współczynnik niestandaryzowany, *CL* – przedział ufności, *LL* – dolny przedział, *UL* – górny przedział

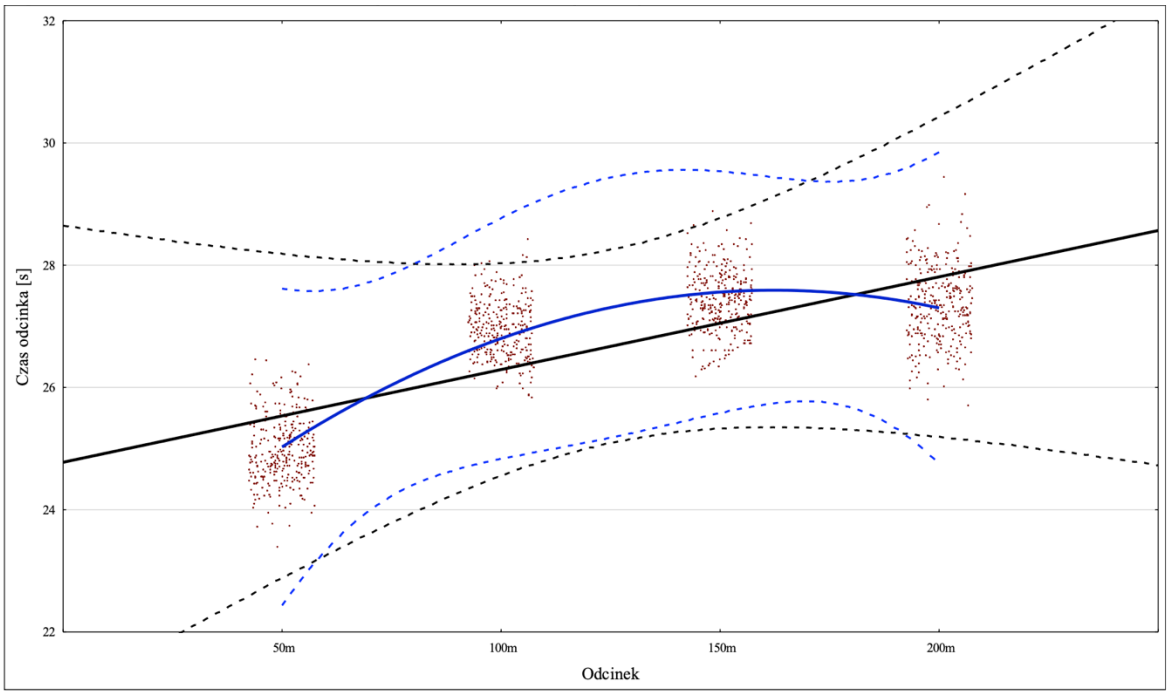
Model regresji liniowej dla dystansu 200 metrów był istotny statystycznie ($F_{(1,1246)} = 1643,21$; $p < 0,001$). Analizę przeprowadzono dla N = 1244 obserwacji. Współczynnik determinacji dla modelu liniowego wyniósł $R^2 = 0,57$, co oznacza, że 57% całkowitej zmienności czasów uzyskiwanych na poszczególnych odcinkach dystansu zostało wyjaśnione przez kolejność segmentu. Pozostałe 43% wariancji stanowiła zmienność niewyjaśniona w ramach modelu jednoczynnikowego.

W modelu liniowym współczynnik regresji dla składnika liniowego był dodatni i istotny statystycznie ($\beta = 0,75$; B = 0,76; 95% CI [0,72; 0,79]; $p < 0,001$). Wartość współczynnika niestandaryzowanego wskazuje, że każdy kolejny odcinek dystansu wiązał się ze średnim wzrostem czasu o 0,76 jednostki. Przedział ufności dla parametru regresji nie obejmował wartości zerowej i pozostawał w wąskim zakresie, co odzwierciedla precyzję oszacowania efektu. Współczynnik standaryzowany ($\beta = 0,75$) wskazuje na silną zależność pomiędzy numerem odcinka a czasem jego pokonania.

Rozszerzenie modelu o składnik nieliniowy skutkowało wzrostem wyjaśnianej wariancji. Model z uwzględnieniem komponentu liniowego i nieliniowego był istotny statystycznie ($F_{(2,1245)} = 2125,96$; $p < 0,001$), a współczynnik determinacji wzrósł do $R^2 = 0,77$. Oznacza to, że model dwuskładnikowy wyjaśniał 77% całkowitej zmienności analizowanych czasów.

W modelu rozszerzonym zarówno składnik liniowy ($\beta = 0,75$; B = 0,76; 95% CI [0,73; 0,78]; $p < 0,001$), jak i składnik nieliniowy ($\beta = -0,57$; B = −0,51; 95% CI [−0,54; −0,48]; $p < 0,001$) osiągnęły istotność statystyczną. Wartość ujemna współczynnika nieliniowego wskazuje na odwrócenie kierunku zmiany w wyższych wartościach zmiennej objaśniającej, co znajduje

odzwierciedlenie w zwiększeniu współczynnika determinacji po uwzględnieniu tego komponentu. Przedziały ufności dla obu parametrów nie obejmowały wartości zerowej. Stopnie swobody dla modelu rozszerzonego wynosiły 2 dla efektu oraz 1245 dla błędu, co odzwierciedla uwzględnienie dodatkowego składnika regresji w porównaniu z modelem liniowym. Graficzną ilustrację dopasowania modelu do danych dla dystansu 200 metrów przedstawiono na wykresie 7.



Wykres 7. Dopasowanie liniowe i nieliniowe odcinków dystansu 200 metrów z uzyskiwanym czasem odcinka.

Szczegółowe wyniki estymacji modeli regresyjnych dla dystansu 400 metrów przedstawiono w Tabeli 22. Model liniowy osiągnął istotność statystyczną na wysokim poziomie ($F_{(1,2422)}$ = 242,99; p < 0,001), przy liczbie obserwacji wynoszącej N = 2424. Wartość współczynnika determinacji dla modelu jednoskładnikowego wyniosła R^2 = 0,09, co oznacza, że 9% całkowitej zmienności czasów rejestrowanych na poszczególnych segmentach dystansu zostało wyjaśnione przez zmienną objaśniającą w postaci numeru odcinka, natomiast pozostałe 91% wariancji stanowiła zmienność niewyjaśniona w ramach przyjętej struktury modelu liniowego.

Parametr regresji dla składnika liniowego przyjął wartość dodatnią i był istotny statystycznie (β = 0,30; B = 0,13; 95% CI [0,11; 0,14]; p < 0,001). Wartość współczynnika

niestandaryzowanego (B = 0,13) wskazuje, że przejście do kolejnego odcinka dystansu wiązało się ze średnim wzrostem czasu o 0,13 jednostki. Przedział ufności dla tego parametru pozostawał w wąskim zakresie i nie obejmował wartości zerowej, co potwierdza istotność statystyczną oszacowanego efektu. Współczynnik standaryzowany na poziomie β = 0,30 odzwierciedlał umiarkowaną siłę zależności pomiędzy numerem odcinka a czasem jego pokonania w modelu liniowym.

W kolejnym etapie analizy model został rozszerzony o składnik nieliniowy, co wiązało się ze zwiększeniem liczby parametrów regresji oraz zmianą struktury wariancji wyjaśnianej przez model. Model dwuskładnikowy był istotny statystycznie ($F_{(2,2421)}$ = 1796,40; p < 0,001), a współczynnik determinacji wzrósł do poziomu R^2 = 0,60. Oznacza to, że po uwzględnieniu komponentu nieliniowego model wyjaśniał 60% całkowitej zmienności analizowanych czasów, co stanowi wzrost wyjaśnianej wariancji o 51 punktów procentowych w porównaniu z modelem liniowym (ΔR^2 = 0,51).

W modelu rozszerzonym oba składniki regresji osiągnęły istotność statystyczną. Składnik liniowy charakteryzował się dodatnim współczynnikiem (β = 0,30; B = 0,13; 95% CI [0,12; 0,14]; p < 0,001), natomiast składnik nieliniowy przyjął wartość ujemną (β = −0,82; B = −0,15; 95% CI [−0,16; −0,15]; p < 0,001). Przedziały ufności dla obu parametrów nie obejmowały wartości zerowej i pozostawały w bardzo wąskim zakresie. Stopnie swobody dla modelu rozszerzonego wynosiły 2 dla efektu oraz 2421 dla składnika błędu.

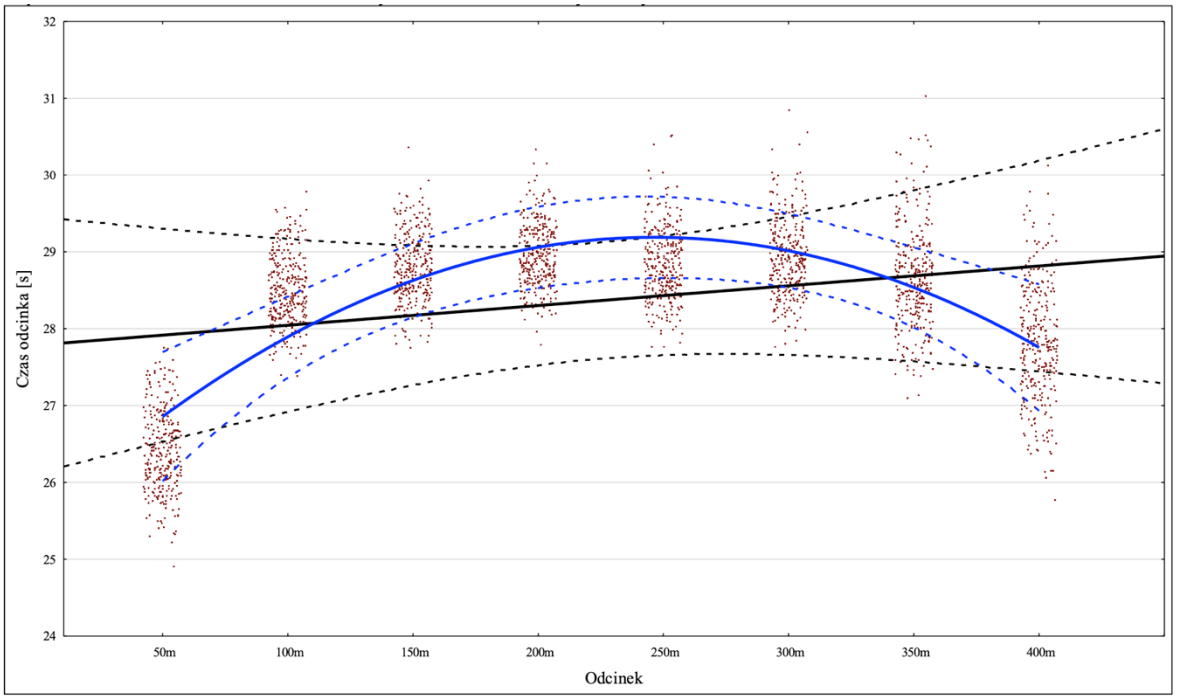
Tabela 22. Model oceny zależności liniowej i nieliniowej odcinków dystansu 400 metrów z uzyskiwanym czasem odcinka.

F	*df*	*p*	R^2	Dopasowanie	β	*B*	*CL 95%*		*p*
							LL	*UL*	
242,99	**1, 2422**	**<0,001**	**0,09**	Liniowe	**0,30**	**0,13**	**0,11**	**0,14**	**<0,001**
1796,40	**2, 2421**	**<0,001**	**0,60**	Liniowe	**0,30**	**0,13**	**0,12**	**0,14**	**<0,001**
				Nieliniowe	**-0,82**	**-0,15**	**-0,16**	**-0,15**	**<0,001**

Adnotacja. Analizy przeprowadzona dla liczby obserwacji N = 2424.

F – wartość dopasowania modelu, *df* – stopnie swobody, p – istotność, R^2 – współczynnik determinacji, β – współczynnik standaryzowany, *B* – współczynnik niestandaryzowany, *CL* – przedział ufności, *LL* – dolny przedział, *UL* – górny przedział

Graficzną ilustrację dopasowania modelu do danych dla dystansu 400 metrów przedstawiono na wykresie 8.



Wykres 8. Dopasowanie liniowe i nieliniowe odcinków dystansu 400 metrów z uzyskiwanym czasem odcinka.

Szczegółowe wyniki estymacji modeli regresyjnych dla dystansu 800 metrów zestawiono w Tabeli 23.

Tabela 23. Model oceny zależności liniowej i nieliniowej odcinków dystansu 800 metrów z uzyskiwanym czasem odcinka.

F	*df*	*p*	R^2	Dopasowanie	*β*	*B*	*CL 95%*		*p*
							LL	*UL*	
81,07	**1, 3198**	**<0,001**	**0,02**	Liniowe	**0,16**	**0,03**	**0,02**	**0,03**	**<0,001**
959,190	**2, 3197**	**<0,001**	**0,38**	Liniowe	**0,16**	**0,03**	**0,02**	**0,03**	**<0,001**
				Nieliniowe	**-0,67**	**-0,03**	**-0,03**	**-0,03**	**<0,001**

Adnotacja. Analizy przeprowadzona dla liczby obserwacji $N = 3184$.

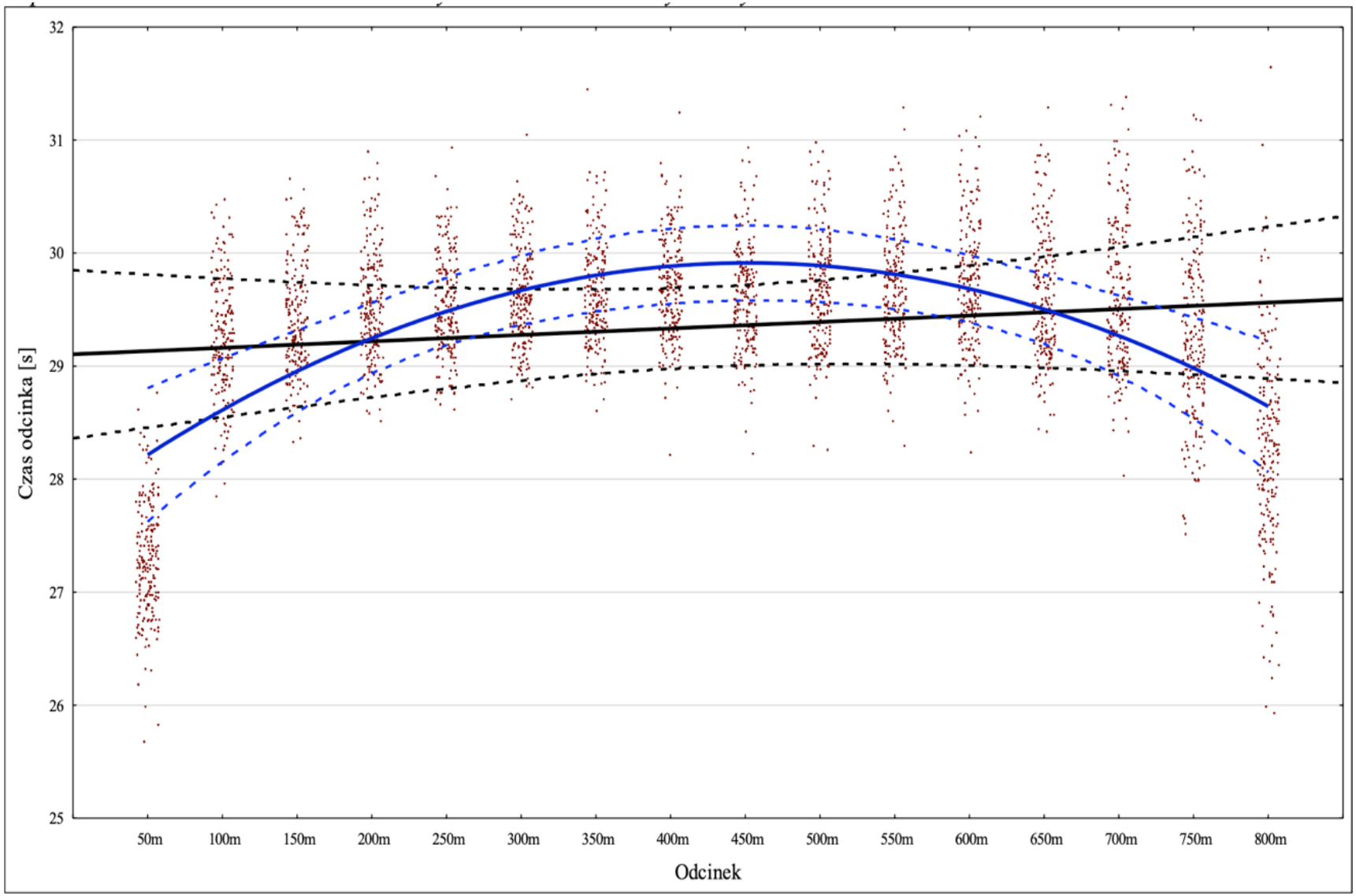
F – wartość dopasowania modelu, *df* – stopnie swobody, *p* – istotność, R^2 – współczynnik determinacji, *β* – współczynnik standaryzowany, *B* – współczynnik niestandaryzowany, *CL* – przedział ufności, *LL* – dolny przedział, *UL* – górny przedział

W pierwszym etapie oszacowano model z jednym predyktorem w postaci numeru odcinka. Model ten osiągnął istotność statystyczną ($F_{(1,3198)} = 81,07$; $p < 0,001$) przy liczbie obserwacji N = 3184. Współczynnik determinacji dla modelu jednozmiennowego wyniósł $R^2 = 0,02$, co oznacza, że 2% całkowitej zmienności czasów uzyskiwanych na analizowanych segmentach

dystansu było wyjaśnione przez kolejność odcinka, natomiast 98% wariancji pozostawało niewyjaśnione w ramach przyjętej struktury regresji liniowej.
Parametr regresji dla predyktora liniowego był dodatni i istotny statystycznie (β = 0,16; B = 0,03; 95% CI [0,02; 0,03]; p < 0,001). Wartość współczynnika niestandaryzowanego wskazuje, że przejście do kolejnego odcinka dystansu wiązało się ze średnim wzrostem czasu o 0,03 jednostki. Przedział ufności dla tego parametru pozostawał w wąskim zakresie i nie obejmował wartości zerowej.

W kolejnym etapie do równania regresji wprowadzono dodatkowy człon kwadratowy, rozszerzając model do postaci dwuczynnikowej. Model ten był istotny statystycznie ($F_{(2,3197)}$ = 959,19; p < 0,001), a współczynnik determinacji wzrósł do R^2 = 0,38, co oznacza zwiększenie wyjaśnianej wariancji o 0,36 w porównaniu z modelem jednozmiennowym (ΔR^2 = 0,36). Łącznie model z członem liniowym oraz kwadratowym wyjaśniał 38% całkowitej zmienności analizowanych czasów.

W modelu rozszerzonym oba parametry regresji osiągnęły istotność statystyczną. Efekt liniowy przyjął wartość β = 0,16 (B = 0,03; 95% CI [0,02; 0,03]; p < 0,001), natomiast efekt kwadratowy charakteryzował się współczynnikiem ujemnym (β = −0,67; B = −0,03; 95% CI [−0,03; −0,03]; p < 0,001). Stopnie swobody dla modelu rozszerzonego wynosiły 2 dla efektu oraz 3197 dla składnika błędu. Graficzną ilustrację przebiegu dopasowania modeli dla dystansu 800 metrów przedstawiono na wykresie 9.



Wykres 9. Dopasowanie liniowe i nieliniowe odcinków dystansu 800 metrów z uzyskiwanym czasem odcinka.

Wyniki estymacji modeli regresyjnych dla dystansu 1500 metrów zestawiono w Tabeli 24.

Tabela 24. Model oceny zależności liniowej i nieliniowej odcinków dystansu 1500 metrów z uzyskiwanym czasem odcinka.

F	*df*	*p*	R^2	Dopasowanie	*β*	*B*	*CL 95%*		*p*
							LL	*UL*	
273,66	**1, 9088**	**<0,001**	**0,03**	Liniowe	**0,17**	**0,02**	**0,01**	**0,02**	**<0,001**
937,21	**1, 9087**	**<0,001**	**0,17**	Liniowe	**0,17**	**0,02**	**0,01**	**0,02**	**<0,001**
				Nieliniowe	**-0,42**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**<0,001**

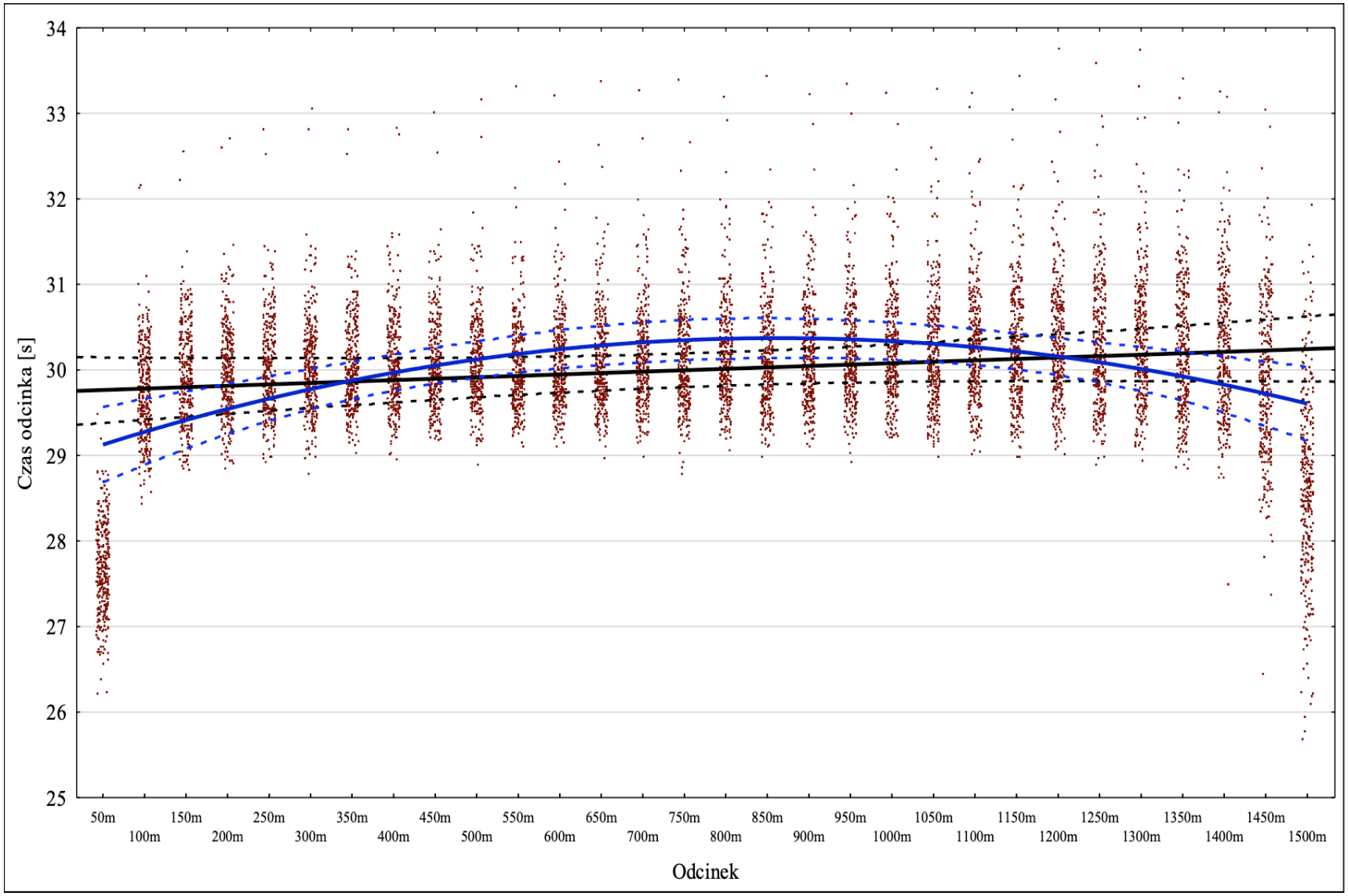
Adnotacja. Analizy przeprowadzona dla liczby obserwacji $N = 9090$.

F – wartość dopasowania modelu, *df* – stopnie swobody, *p* – istotność, R^2 – współczynnik determinacji, *β* – współczynnik standaryzowany, *B* – współczynnik niestandaryzowany, *CL* – przedział ufności, *LL* – dolny przedział, *UL* – górny przedział

W pierwszym etapie oszacowano model z jednym predyktorem w postaci numeru odcinka. Model ten osiągnął istotność statystyczną ($F_{(1,9088)} = 273,66$; $p < 0,001$) przy liczbie obserwacji N = 9090. Współczynnik determinacji dla modelu jednozmiennowego wyniósł $R^2 = 0,03$, co oznacza, że 3% całkowitej zmienności czasów uzyskiwanych na analizowanych segmentach dystansu było wyjaśnione przez kolejność odcinka, natomiast 97% wariancji pozostawało niewyjaśnione w ramach modelu z pojedynczym predyktorem.

Parametr regresji dla członu liniowego był dodatni i istotny statystycznie ($\beta = 0,17$; B = 0,02; 95% CI [0,01; 0,02]; $p < 0,001$). Wartość współczynnika niestandaryzowanego wskazuje, że przejście do kolejnego segmentu dystansu wiązało się ze średnim wzrostem czasu o 0,02 jednostki. Przedział ufności dla tego parametru nie obejmował wartości zerowej.

W kolejnym etapie do równania regresji wprowadzono dodatkowy człon kwadratowy, rozszerzając model do postaci dwuczynnikowej. Model ten był istotny statystycznie ($F_{(2,9087)} = 937,21$; $p < 0,001$), a współczynnik determinacji wzrósł do $R^2 = 0,17$, co oznacza zwiększenie wyjaśnianej wariancji o 0,14 w porównaniu z modelem jednozmiennowym ($\Delta R^2 = 0,14$). Łącznie model z efektem liniowym oraz kwadratowym wyjaśniał 17% całkowitej zmienności analizowanych czasów. W modelu rozszerzonym zarówno człon liniowy ($\beta = 0,17$; B = 0,02; 95% CI [0,01; 0,02]; $p < 0,001$), jak i człon kwadratowy ($\beta = -0,42$; B = 0,00; 95% CI [0,00; 0,00]; $p < 0,001$) osiągnęły istotność statystyczną. Stopnie swobody dla modelu rozszerzonego wynosiły 2 dla efektu oraz 9087 dla składnika błędu. Graficzną ilustrację przebiegu dopasowania modeli dla dystansu 1500 metrów przedstawiono na wykresie 10.



Wykres 10. Dopasowanie liniowe i nieliniowe odcinków dystansu 1500 metrów z uzyskiwanym czasem odcinka.

Porównawcza analiza parametrów modeli regresyjnych dla wszystkich badanych dystansów ujawnia wyraźne zróżnicowanie udziału komponentu liniowego i nieliniowego w wyjaśnianiu zmienności czasów uzyskiwanych na kolejnych odcinkach wyścigu. W konkurencji 100 metrów model liniowy charakteryzował się najwyższą spośród analizowanych dystansów wartością współczynnika determinacji ($R^2 = 0,82$), przy jednocześnie bardzo wysokiej wartości współczynnika standaryzowanego $\beta = 0,91$. Oznacza to, że w tej konkurencji zależność pomiędzy numerem odcinka a uzyskiwanym czasem była w zdecydowanej większości wyjaśniana przez komponent liniowy, bez konieczności uwzględniania składnika nieliniowego. W przypadku dystansu 200 metrów model liniowy wyjaśniał 57% zmienności wyników ($R^2 = 0,57$), natomiast rozszerzenie modelu o składnik nieliniowy prowadziło do wzrostu współczynnika determinacji do poziomu $R^2 = 0,77$. Wartość współczynnika standaryzowanego dla komponentu nieliniowego wynosiła w tym przypadku $\beta = -0,57$, co wskazuje na istotny udział tej składowej w strukturze modelu. Jeszcze wyraźniejsza zmiana obserwowana była dla dystansu 400 metrów. Model liniowy wyjaśniał 9% zmienności ($R^2 = 0,09$), podczas gdy model rozszerzony osiągnął wartość $R^2 = 0,60$. W tym przypadku wartość współczynnika standaryzowanego dla składnika nieliniowego wynosiła $\beta = -0,82$, co stanowi najwyższą bezwzględną wartość tego parametru spośród wszystkich analizowanych dystansów. W odniesieniu do dystansów dłuższych odnotowano niższe wartości współczynników determinacji w modelach rozszerzonych. Dla 800 metrów wartość R^2 wzrosła z 0,02 w modelu liniowym do 0,38 po uwzględnieniu składnika nieliniowego, przy wartości $\beta = -0,67$ dla tego komponentu. Natomiast dla dystansu 1500 metrów współczynnik determinacji zwiększył się z 0,03 do 0,17, a wartość współczynnika standaryzowanego dla składnika nieliniowego wynosiła $\beta = -0,42$.

Zestawienie wartości R^2 oraz współczynników β dla poszczególnych dystansów wskazuje, że w konkurencjach od 200 do 1500 metrów włączenie komponentu nieliniowego wiązało się ze wzrostem wartości współczynnika determinacji względem modeli liniowych, przy czym skala tego wzrostu różniła się w zależności od długości dystansu.

6.3. Współczynniki rozkładu tempa

W celu oceny różnic w rozkładzie tempa na analizowanych dystansach przeprowadzono ilościową analizę relacji pomiędzy czasami poszczególnych odcinków oraz ich zmienności w obrębie całego wyścigu. Na podstawie zarejestrowanych czasów odcinków obliczono zestaw

wskaźników relacyjnych oraz współczynników zmienności, umożliwiających charakterystykę strategii realizacji dystansu oraz stabilności tempa.

W pierwszej kolejności przedstawiono oznaczenia stosowane w dalszej części rozdziału, a następnie zdefiniowano współczynniki wykorzystane do opisu rozkładu tempa.

W analizie zastosowano następujące oznaczenia:

- T_1 – czas pierwszego odcinka
- T_2 – czas drugiego odcinka
- T_{pl} – czas przedostatniego odcinka
- T_l – czas ostatniego odcinka
- T_i – czas i-tego odcinka wyścigu (i = 1, 2, …, n)
- n – liczba wszystkich odcinków
- k – liczba odcinków środkowych
- T_{mid} – średni czas odcinków środkowych
- $\bar{T}$ – średni czas wszystkich odcinków
- SD_{mid} – odchylenie standardowe odcinków środkowych
- SD_{total} – odchylenie standardowe wszystkich odcinków

Liczbę odcinków n przyjęto zgodnie z dystansem 100 metrów – 2, 200 metrów – 4, 400 metrów – 8, 800 metrów – 16, 1500 metrów – 30.

Odcinki środkowe zdefiniowano jako odcinki od 2 do $n - 1$. Ich liczba wynosi:

$$k = n - 2$$

Średni czas odcinków środkowych obliczano jako:

$$T_{mid} = \frac{1}{k}\sum_{i=2}^{n-1} T_i$$

Wskaźnik T_{mid} wyznaczano wyłącznie dla dystansów, w których występują odcinki środkowe ($n \geq 4$).

Średni czas wszystkich odcinków:

$$\bar{T} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} T_i$$

a) **R_{L1}** – wskaźnik relacji ostatniego do pierwszego odcinka

$$R_{1\mathrm{L}} = \frac{T_l}{T_1}\,\mathrm{x}100\%$$

b) **R_{1M}** – wskaźnik relacji pierwszego odcinka do odcinków środkowych

$$R_{1\mathrm{M}} = \frac{T_1}{T_{mid}}\,\mathrm{x}100\%$$

c) **R_{2M}** – wskaźnik relacji drugiego odcinka do odcinków środkowych

$$R_{2\mathrm{M}} = \frac{T_2}{T_{mid}}\,\mathrm{x}\,100\%$$

d) **R_{PLM}** – wskaźnik relacji przedostatniego odcinka do odcinków środkowych

$$R_{\mathrm{PLM}} = \frac{T_{pl}}{T_{mid}}\,\mathrm{x}100\%$$

e) **R_{LM}** – wskaźnik relacji ostatniego odcinka do odcinków środkowych

$$R_{\mathrm{LM}} = \frac{T_l}{T_{mid}}\,\mathrm{x}100\%$$

Wskaźniki oparte o T_{mid} (R_{1M}, R_{2M}, R_{PLM}, R_{LM}) obliczano dla dystansów 200–1500 metrów ($n \geq 4$).

f) **CV_M** – współczynnik zmienności odcinków środkowych

$$CV_{\mathrm{M}} = \frac{SD_{mid}}{T_{mid}}\,\mathrm{x}100\%$$

$$SD_{mid} = \sqrt{\frac{1}{k-1}\sum_{i=2}^{n-1}(T_i - T_{mid})^2}$$

CV_T – współczynnik zmienności całego dystansu

$$CV_T = \frac{SD_{total}}{\bar{T}} \text{x}100\%$$

$$SD_{total} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(T_i - \bar{T})^2}$$

W tabeli 25 przedstawiono współczynniki korelacji Pearsona pomiędzy wskaźnikami rozkładu tempa a czasem końcowym uzyskanym na analizowanych dystansach. W ocenie korelacji wykorzystano współczynnik R Pearsona z uwagi na nieznaczne problemy z normalnością rozkładu testowanych zmiennych (załącznik 3) oraz dużej liczebności próby.

Tabela 25. Wyniki analizy korelacji dla rozkładu tempa oraz czasu na dystansach.

Współczynniki opisujące rozkład tempa [%]	Czas dystansu [s]				
	100m *N* = 312	200m *N* = 312	400m *N* = 303	800m *N* = 200	1500m *N* = 303
	r	*r*	*r*	*r*	*r*
R_{L1}	-0,10	0,00	**0,22*****	**0,24****	**0,41*****
R_{1M}	—[a]	0,03	0,07	**0,18***	**-0,27*****
R_{2M}	—[a]	—[a]	**0,13***	**0,13***	**0,35*****
R_{PL}	—[a]	—[a]	**-0,39*****	**-0,31*****	**-0,22*****
R_{LM}	—[a]	0,03	**-0,23*****	**-0,17***	**-0,27*****
CV_M	—[a]	0,00	0,05	**0,31*****	**0,41*****
CV_T	-0,05	0,02	0,05	0,10	**0,11***

[a] – brak możliwość korelacji z powodu braku odcinków, *N* – liczba obserwacji, *r* – współczynnik Pearsona

* – $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$, *** – $p < 0,001$

Na dystansie 100 metrów nie stwierdzono istotnych statystycznie zależności pomiędzy wskaźnikiem relacji ostatniego do pierwszego odcinka (R_{L1}) a czasem końcowym (r = −0,10). Z uwagi na brak odcinków środkowych (n = 2) pozostałych wskaźników relacyjnych nie analizowano. Nie odnotowano również istotnej zależności pomiędzy współczynnikiem zmienności całego dystansu (CV_T) a czasem uzyskanym na dystansie 100 metrów (r = −0,05).

Na dystansie 200 metrów nie wykazano istotnych korelacji pomiędzy analizowanymi wskaźnikami a czasem końcowym. Wskaźnik R_{L1} nie korelował istotnie z czasem (r = 0,00). Podobnie brak istotnych zależności stwierdzono dla wskaźnika relacji pierwszego odcinka do odcinków środkowych (R_{1M}; r = 0,03), wskaźnika relacji ostatniego odcinka do odcinków środkowych (R_{LM}; r = 0,03), a także dla współczynników zmienności odcinków środkowych (CV_M; r = 0,00) oraz całego dystansu (CV_T; r = 0,02).

Na dystansie 400 metrów zaobserwowano istotne zależności pomiędzy wybranymi wskaźnikami rozkładu tempa a czasem końcowym. Wskaźnik R_{L1} wykazał dodatnią korelację z czasem (r = 0,22; $p < 0,001$). Istotną dodatnią zależność odnotowano również dla wskaźnika relacji drugiego odcinka do odcinków środkowych (R_{2M}; r = 0,13; $p < 0,05$). Wskaźnik relacji przedostatniego odcinka do odcinków środkowych (R_{PLM}) korelował istotnie ujemnie z czasem (r = −0,39; $p < 0,001$), podobnie jak wskaźnik relacji ostatniego odcinka do odcinków środkowych (R_{LM}; r = −0,23; $p < 0,001$). Nie wykazano istotnych zależności dla wskaźnika R_{1M} (r = 0,07) ani dla współczynników zmienności CV_M (r = 0,05) oraz CV_T (r = 0,05).

Na dystansie 800 metrów liczba istotnych korelacji była większa. Wskaźnik R_{L1} wykazał dodatnią zależność z czasem końcowym (r = 0,24; $p < 0,001$). Istotne dodatnie korelacje odnotowano również dla wskaźnika R_1M (r = 0,18; $p < 0,05$) oraz R_{2M} (r = 0,13; $p < 0,05$). Wskaźnik R_{PLM} korelował istotnie ujemnie z czasem (r = −0,31; $p < 0,001$), podobnie jak wskaźnik R_{LM} (r = −0,17; $p < 0,05$). Współczynnik zmienności odcinków środkowych (CV_M) wykazał istotną dodatnią zależność z czasem końcowym (r = 0,31; $p < 0,001$), natomiast dla współczynnika zmienności całego dystansu (CV_T) nie stwierdzono istotnej korelacji (r = 0,10).

Na dystansie 1500 metrów zaobserwowano najsilniejsze zależności pomiędzy wskaźnikami rozkładu tempa a czasem końcowym. Wskaźnik R_{L1} wykazał umiarkowaną dodatnią korelację z czasem (r = 0,41; $p < 0,001$). Wskaźnik R_{1M} korelował istotnie ujemnie z czasem (r = −0,27; $p < 0,001$), natomiast wskaźnik R_{2M} wykazał istotną dodatnią zależność (r = 0,35; $p < 0,001$). Ujemne korelacje z czasem odnotowano również dla wskaźników R_{PLM} (r = −0,22; $p < 0,001$) oraz R_{LM} (r = −0,27; $p < 0,001$). Współczynnik zmienności odcinków środkowych (CV_M) wykazał umiarkowaną dodatnią zależność z czasem końcowym (r = 0,41; $p < 0,001$), natomiast współczynnik zmienności całego dystansu (CV_T) korelował słabo, lecz istotnie dodatnio z czasem (r = 0,11; $p < 0,05$).

Liczba oraz siła istotnych zależności pomiędzy wskaźnikami rozkładu tempa a czasem końcowym zwiększała się wraz z długością dystansu. Na dystansach 100 i 200 metrów nie stwierdzono istotnych korelacji, natomiast od dystansu 400 metrów obserwowano systematyczny wzrost liczby istotnych zależności oraz wartości bezwzględnych współczynników korelacji.

7. Dyskusja

7.1. Uniwersalny i powtarzalny schemat rozkładu tempa w pływaniu elitarnym

Analiza dystansów 100, 200, 400, 800 i 1500 metrów wskazuje na wspólną logikę regulacji prędkości u zawodników najwyższego poziomu: najwyższe wartości pojawiają się w fazie otwarcia wyścigu, po czym w kolejnych segmentach następuje spadek prędkości, jej względna stabilizacja lub końcowa modyfikacja, zależnie od długości konkurencji. Oznacza to, że pacing w pływaniu elitarnym nie polega na utrzymywaniu tempa stałego, lecz przyjmuje formę ustrukturyzowaną: wspólny pozostaje kierunek zmian, natomiast amplituda i czas trwania poszczególnych faz zostają dostrojone do wymagań danego dystansu (Barbosa i in., 2013; McGibbon i in., 2018; Menting i in., 2019). W tym sensie „powtarzalność" nie oznacza identycznych wartości prędkości na kolejnych odcinkach, lecz powtarzalną logikę przebiegu wysiłku: wczesne maksimum prędkości, następnie spadek lub stabilizacja, a w dalszej części wyścigu — w zależności od konkurencji — ograniczanie degradacji albo próba końcowej intensyfikacji.

Szybkie otwarcie stanowi w tej logice element wspólny, ale jego funkcja nie jest taka sama na wszystkich dystansach. Wynika ono po pierwsze z mechaniki samego wyścigu: segment startowy, obejmujący skok, lot, wejście do wody, fazę podwodną i przejście do pływania na powierzchni, generuje bardzo wysokie prędkości chwilowe, które później trudno odtworzyć w warunkach pełnego cyklu pływackiego (Keiner i in., 2021). Po drugie, szybkie otwarcie spełnia funkcję taktyczną, ponieważ w rywalizacji elitarnej wczesne ustawienie w stawce ogranicza ryzyko kosztownego energetycznie odrabiania strat i zmniejsza prawdopodobieństwo wymuszonych, nieplanowanych zmian tempa w dalszej części wyścigu (Menting i in., 2019). Po trzecie, znaczenie otwarcia rośnie wraz ze skracaniem konkurencji, ponieważ im krótszy czas trwania wysiłku, tym mniejszy margines na naprawienie błędu strategicznego w kolejnych segmentach (McGibbon i in., 2018).

Na dystansach krótkich szybkie otwarcie ma więc znaczenie najbardziej bezpośrednie. W literaturze poświęconej najkrótszym konkurencjom, zwłaszcza 50 metrów, pierwsze metry po wynurzeniu oraz przejście do pływania „na wodzie" bywają obszarem szczególnie silnie różnicującym wynik, ponieważ właśnie tam przewaga techniczna i fizjologiczna najłatwiej przekłada się na czas końcowy (Abbiss & Laursen, 2008; Arellano i in., 2022). W sprincie o jakości strategii nie świadczy jednak sama obecność spadku prędkości, który jest w dużej

mierze nieunikniony, lecz raczej tempo narastania tej degradacji oraz zdolność do jej ograniczania w końcówce (McGibbon i in., 2018). Innymi słowy, szybkie otwarcie nie jest tu wyłącznie skutkiem „fizyki startu”; staje się również decyzją o akceptowanym poziomie ryzyka, podejmowaną po to, aby możliwie wcześnie osiągnąć wysoką prędkość średnią.

W konkurencjach średniodystansowych, zwłaszcza na 200 i 400 metrów, szybkie otwarcie pozostaje ważne, ale przestaje być autonomicznym celem. Decydujące staje się bowiem to, czy początkowy zysk prędkości nie wygeneruje zbyt wysokiego kosztu fizjologicznego w dalszej części wyścigu. Szczególnie wyraźnie widać to na 400 metrów, gdzie dobór strategii pacingu został wskazany jako istotny czynnik powiązany z wynikiem w populacji elitarnej (Mauger i in., 2012). Dystans ten można uznać za graniczny: sama agresja startowa nie wystarcza, a o efektywności decyduje takie ukształtowanie profilu prędkości, które pozwala utrzymać wysoką średnią bez gwałtownego załamania w drugiej części dystansu.

Na 800 i 1500 metrów szybkie otwarcie również pozostaje widoczne, ale jego rola przesuwa się z funkcji bezpośrednio wynikowej ku funkcji organizującej przebieg rywalizacji. W tych konkurencjach początek nie powinien być interpretowany jako próba „wygrania” wyścigu już na pierwszych odcinkach, lecz jako sposób wejścia w rytm rywalizacji, kontrolowania pozycji i uniknięcia kosztownych korekt tempa w dalszej części dystansu (Lipińska i in., 2016; Neuloh i in., 2021). Dla dystansów długich kluczowe stają się natomiast relatywnie stabilna część środkowa oraz zdolność do modyfikacji tempa w końcówce, często w postaci przyspieszenia. W przeciwieństwie do sprinterów, którzy od początku dążą do maksymalizacji prędkości (Veiga & Roig, 2016), zawodnicy startujący na 800–1500 metrów muszą tak kształtować początek wyścigu, aby nie doprowadzić do przedwczesnego zmęczenia i utraty efektywności w końcowych odcinkach (Mytton i in., 2015).

Podłoże fizjologiczne tej dystansowej transformacji jest czytelne. Sprinty opierają się głównie na natychmiastowo dostępnych źródłach energii, przede wszystkim ATP i PCr, natomiast wraz z wydłużaniem czasu trwania wysiłku rośnie znaczenie kombinacji różnych systemów energetycznych, obejmujących także glikolizę beztlenową oraz tlenowe spalanie węglowodanów, tłuszczów i białek (Capelli i in., 1998). W konsekwencji na średnich i długich dystansach kluczowe staje się nie tyle samo szybkie otwarcie, ile takie jego zoptymalizowanie, które minimalizuje akumulację zmęczenia i pozwala uniknąć gwałtownego spadku tempa zaraz po starcie (Lipińska i in., 2016; Zamparo i in., 2005). Ostatecznie można więc mówić o względnie uniwersalnym kierunku zmian prędkości w pływaniu elitarnym — początkowym maksimum i późniejszym obniżeniu — ale funkcja każdej fazy wyścigu jest wyraźnie dystansowo specyficzna: w sprincie dominuje utrzymanie prędkości, na dystansach pośrednich

kontrola kosztu intensywności, a na długich stabilizacja środka i efektywne domknięcie wyścigu. Tę ogólną ramę należy następnie doprecyzować przez wskazanie, w których fragmentach dystansu zmienność tempa jest największa.

7.2. Fragmenty dystansu o największej dynamice zmian tempa w zależności od długości konkurencji

W świetle opisanego wyżej modelu wspólnego największa dynamika zmian tempa koncentruje się w dwóch strefach: na początku i w końcowej fazie wyścigu. Odcinki środkowe, szczególnie w konkurencjach 400–1500 metrów, charakteryzują się natomiast relatywnie mniejszą zmiennością. Taki rozkład odzwierciedla ogólną logikę organizacji wysiłku w sportach wytrzymałościowo-szybkościowych: na początku zawodnik wykorzystuje możliwość wygenerowania bardzo wysokiej prędkości przy jeszcze ograniczonych konsekwencjach zmęczeniowych, a w końcówce uruchamia zachowane zasoby fizjologiczne i psychiczne w warunkach maksymalnego obciążenia (McGibbon i in., 2018; Neuloh i in., 2021). Profil zmienności tempa, a nie wyłącznie jego średni poziom, okazuje się zatem silnie zależny od dystansu.

Na dystansach krótkich, zwłaszcza 100–200 metrów, przejścia między fazami wyścigu mają charakter gwałtowny. Po bardzo szybkim starcie następuje spadek tempa wynikający z ograniczonej możliwości utrzymania maksymalnej intensywności i z narastającego zmęczenia (Moser i in., 2020; Robertson i in., 2009). W tym układzie finisz w sensie realnego przyspieszenia jest zwykle ograniczony, ponieważ zawodnik od początku porusza się blisko maksymalnej intensywności. Z tego powodu bardziej adekwatne jest odróżnienie „faktycznego finiszu" od „finiszu funkcjonalnego": w sprincie sukces nie polega zazwyczaj na dodatkowym wzroście prędkości, lecz na minimalizacji jej spadku w ostatniej części dystansu, rozumianej jako utrzymanie możliwie wysokiej efektywności technicznej mimo narastającego zmęczenia (Zacca i in., 2010). W praktyce oznacza to, że końcówka sprintu jest testem zdolności do podtrzymania jakości wykonania, a nie miejscem klasycznego end-spurt.

Wraz z wydłużaniem konkurencji znaczenie zyskuje środkowa część dystansu, która pełni funkcję aktywnej stabilizacji wysiłku. Na 400–1500 metrów względna równomierność środka nie oznacza „bierności", lecz świadomą kontrolę relacji między prędkością a kosztem energetycznym. Jest to zgodne z badaniami nad strategiami energetycznymi w pływaniu długodystansowym(Lipińska i in., 2016; Lipińska & Hopkins, 2020). W środowisku wodnym gwałtowne zmiany prędkości są szczególnie kosztowne z powodu wysokiego oporu

hydrodynamicznego, dlatego utrzymanie płynności ruchu, rytmu pracy i technicznej ekonomii ogranicza nieproporcjonalny wzrost wydatku energetycznego (McGibbon i in., 2018; Toussaint & Beek, 1992). Stabilizacja środkowej części dystansu oznacza więc aktywną samoregulację: zawodnik dostosowuje intensywność do narastających kosztów fizjologicznych, dba o długość i ekonomię cyklu ruchowego oraz redukuje fluktuacje prędkości do poziomu, który nie generuje nadmiernych strat (Craig i in., 1985; Pageaux & Lepers, 2018).

Istotnym dopełnieniem tego obrazu jest zjawisko finiszu na dłuższych dystansach. Choć bezwzględna prędkość w końcówce nie musi być wyższa niż w początkowym segmencie wyścigu, to względem środkowej części dystansu końcówka często oznacza wyraźną intensyfikację. Taka konfiguracja — względnie stabilny środek i szybsza końcówka — wskazuje, że zawodnicy elitarni potrafią zachować rezerwę umożliwiającą modyfikację tempa w końcowych odcinkach (Mytton i in., 2015; Neuloh i in., 2021). End-spurt nie jest przy tym wyłącznie psychologicznym „zrywem". Jego realizacja zależy jednocześnie od wcześniejszej kontroli intensywności, od zachowania zdolności do efektywnego generowania napędu oraz od utrzymania parametrów technicznych pozwalających zwiększyć częstotliwość pracy mimo narastającego zmęczenia (Lipińska i in., 2016; McGibbon i in., 2018; Morais i in., 2023). Dlatego końcówkę wyścigu można traktować jako test jakości całej wcześniejszej regulacji tempa: jeśli środek dystansu został rozegrany zbyt agresywnie, finisz albo nie wystąpi, albo przyjmie postać wyłącznie podtrzymania prędkości bez realnego przyspieszenia.

Na poziomie syntetycznym oznacza to, że największa dynamika tempa pojawia się wtedy, gdy zawodnik dopiero „wchodzi" w wysiłek lub świadomie „odblokowuje" zachowane zasoby, natomiast środek dystansu jest przestrzenią kontrolowanej ekonomii. Krótkie konkurencje akcentują relację między bardzo szybkim początkiem a późniejszym spadkiem, natomiast dłuższe coraz wyraźniej przyjmują strukturę trójfazową: względnie szybkie otwarcie, kontrolowany środek i końcową modyfikację tempa, nierzadko w formie przyspieszenia (Hołub i in., 2023; Neuloh i in., 2021). Tę funkcjonalną strukturę najlepiej widać w analizie międzyczasów, która pozwala sprawdzić, jak wspomniane fazy materializują się na poszczególnych dystansach.

7.3. Schematy tempa na podstawie analizy międzyczasów na różnych dystansach

Analiza międzyczasów potwierdza, że schematy tempa w pływaniu elitarnym są dystansowo specyficzne, a zależności między kolejnymi segmentami a wynikiem końcowym mają charakter złożony i często nieliniowy. Pacing nie jest zatem prostą funkcją średniej prędkości

ani mechanicznym przeskalowaniem strategii z krótszej konkurencji na dłuższą. Wraz ze wzrostem czasu trwania wysiłku zmieniają się dominujące ograniczenia energetyczno-metaboliczne, koszt utrzymania wysokiej prędkości w środowisku o dużym oporze hydrodynamicznym oraz warunki podejmowania decyzji w toku rywalizacji (McGibbon i in., 2018; Moser i in., 2020). Na tym tle analiza międzyczasów ma szczególną wartość, ponieważ nie pokazuje wyłącznie poziomu prędkości, lecz odsłania sekwencję decyzji regulacyjnych podejmowanych w kolejnych fragmentach wyścigu.

Na 100 metrów dominuje strategia zbliżona do „all-out" w sensie intencjonalnym, ale nawet przy takim nastawieniu profil tempa rzadko okazuje się płaski. Zazwyczaj przyjmuje postać szybkiego otwarcia i spadku prędkości w dalszych segmentach (Moser i in., 2020). W tym kontekście strategia pozytywna nie musi oznaczać błędu taktycznego, lecz odzwierciedla fizjologiczną i biomechaniczną trudność utrzymania prędkości po osiągnięciu bardzo wysokiego maksimum na początku wyścigu (McGibbon i in., 2018). Dlatego międzyczasy na 100 metrów służą przede wszystkim do oceny wielkości i przebiegu spadku prędkości, a więc jakości jej utrzymania w końcówce, a nie do poszukiwania wyraźnego przyspieszenia na finiszu, które w tych warunkach pozostaje z natury ograniczone.

Na 200 metrów pojawia się już układ bardziej złożony: szybki pierwszy odcinek, następnie względna stabilizacja i próba utrzymania prędkości przy rosnącym koszcie wysiłku, a w końcówce ograniczone przyspieszenie albo kontrolowane domykanie dystansu. W tej konkurencji międzyczasy szczególnie dobrze pokazują, czy zawodnik potrafi przejść z fazy otwarcia do fazy „roboczej" bez nadmiernej degradacji prędkości. Istotne znaczenie mają tu relacje między strategiami podwodnymi i nawrotami a prędkością pływania na powierzchni: u zawodników światowego poziomu elementy podwodne i nawrotowe mogą stabilizować prędkość średnią, pomagając łączyć szybkie otwarcie z utrzymaniem rytmu na kolejnych długościach (Veiga & Roig, 2016). Dystans 200 metrów pozostaje więc konkurencją pośrednią: nadal premiuje agresywny początek, ale silnie karze zbyt duże odchylenia w środku wyścigu, bo to one najczęściej przekładają się na spadek prędkości na ostatnim odcinku (Stanula i in., 2015).

Na 400 metrów międzyczasy ujawniają jeszcze inną logikę. Szybkie otwarcie pozostaje obecne, ale kluczowe staje się znalezienie punktu równowagi między zyskiem prędkości w pierwszych odcinkach a kosztem jej spadku później. Zbyt agresywny początek może prowadzić do gwałtownego załamania w drugiej połowie dystansu, podczas gdy otwarcie zbyt zachowawcze obniża potencjał wyniku przez redukcję średniej prędkości (Mauger i in., 2012). W tej konkurencji analiza międzyczasów pozwala więc odróżnić strategię kontrolowanego spadku od

strategii gwałtownego załamania, a zarazem traktować sam profil międzyczasów jako wskaźnik jakości regulacji wysiłku i odporności na narastające obciążenie.

Na 800 i 1500 metrów profile tempa zbliżają się do ujęcia parabolicznego lub U-kształtnego: relatywnie szybki początek, względnie stabilny środek i intensyfikacja końcowa (Lipińska i in., 2016). Międzyczasy ujawniają tutaj dwa elementy o szczególnej wadze: zdolność do utrzymania niskiej zmienności w części środkowej oraz możliwość zwiększenia tempa w końcowych odcinkach. Sama obecność finiszu nie jest jednak dodatkiem do wcześniej zrealizowanego wyścigu, lecz konsekwencją wcześniejszej dystrybucji wysiłku. Jeśli zawodnik utrzymuje ekonomię ruchu i niską zmienność środka, zyskuje przestrzeń do końcowej intensyfikacji; jeśli środek zostaje rozegrany zbyt agresywnie, końcowe przyspieszenie staje się niemożliwe (Damasceno i in., 2013; McGibbon i in., 2018; Neuloh i in., 2021). W tym sensie pływacy długodystansowi dążą nie tylko do utrzymania prędkości, ale do podtrzymania stylu o wysokiej efektywności przez cały wyścig, co wymaga kontroli długości i amplitudy ruchów, częstotliwości cyklu oraz ekonomii generowania napędu (Barbosa i in., 2010).

Analiza międzyczasów na 800–1500 metrów może dodatkowo ujawniać strukturę samego finiszu. U części zawodników przyspieszenie ma charakter bardziej nagły i wyraźnie zlokalizowany, u innych przyjmuje postać stopniowego narastania tempa. Różne drogi mogą prowadzić do podobnego wyniku końcowego, ale ich odróżnienie ma znaczenie poznawcze, bo pokazuje, że powtarzalność wzorca dystansowego nie wyklucza adaptacji taktycznych. Międzyczasy są bowiem nie tylko „odciskiem" fizjologii zawodnika, lecz także zapisem decyzji podejmowanych w odpowiedzi na przebieg rywalizacji bezpośredniej; elita modyfikuje strategię przede wszystkim w obszarach największej taktycznej wrażliwości, takich jak moment rozpoczęcia finiszu lub reakcja na przyspieszenie rywala, przy zachowaniu względnie stabilnej struktury środkowej części wyścigu (Menting i in., 2019; Neuloh i in., 2021). W rezultacie analiza międzyczasów pozwala rozpoznać dystansowo zależne schematy tempa: na 100 metrów dominację szybkiego otwarcia i spadku, na 200 metrów strukturę przejściową, na 400 metrów konkurencję graniczną wrażliwą na „przestrzelenie" początku, a na 800–1500 metrów profil z istotną rolą stabilnego środka i końcowego przyspieszenia. To właśnie ta sekwencja obserwacji otwiera drogę do formalnego opisu matematycznego profilu tempa.

7.4. Charakter matematyczny rozkładu tempa: liniowy vs krzywoliniowy

Zestawienie wyników z poprzednich części prowadzi do wniosku, że profil tempa w pływaniu elitarnym rzadko ma charakter ściśle liniowy. Już sama obecność bardzo szybkiego otwarcia, a w dłuższych konkurencjach także względnej intensyfikacji końcowej, implikuje krzywoliniowość lub przynajmniej odcinkowy charakter przebiegu. Najtrafniejszy opis ma więc zazwyczaj formę segmentową: początkowa faza o wysokiej prędkości, następnie przejście do stabilizacji albo kontrolowanego spadku oraz końcowa modyfikacja prędkości, zależna od długości konkurencji (Hołub i in., 2023; McGibbon i in., 2018). W tym ujęciu opis liniowy może pełnić rolę uproszczonego przybliżenia statystycznego, lecz słabiej oddaje rzeczywistą logikę rywalizacji niż model o zmieniającym się nachyleniu.

Na dystansach krótkich, zwłaszcza 100–200 metrów, profil tempa może sprawiać wrażenie zbliżonego do liniowego spadku po bardzo szybkim początku. Taki obraz wynika jednak raczej z ograniczonej liczby segmentów i krótkiego czasu trwania wysiłku niż z rzeczywiście liniowego procesu regulacji. O wyniku decydują tu przede wszystkim komponenty umożliwiające osiągnięcie bardzo wysokiej prędkości początkowej i ograniczenie tempa jej degradacji, dlatego nawet istotne sportowo różnice między zawodnikami nie zawsze przejawiają się jako silna zależność statystyczna między zmiennością międzyczasów a czasem końcowym (McGibbon i in., 2018). Innymi słowy, dana konkurencja może wyglądać „prawie liniowo" dopiero po utracie informacji o fazowej strukturze wysiłku.

Na 400 metrów rola kształtu profilu tempa staje się już bardziej wyraźna. Wcześniejsze analizy elity wskazują, że wybór strategii pacingu może realnie różnicować rezultat, co jest spójne z obserwacją, że na tym dystansie korzystniejszy bywa profil z czytelną zmianą nachylenia niż prosta linia dopasowana do całego przebiegu wyścigu (Mauger i in., 2012). Zbyt szybkie otwarcie zwiększa ryzyko przyspieszonego spadku prędkości po przekroczeniu pewnego progu zmęczenia, zbyt zachowawcze zaś obniża średnią prędkość i ogranicza potencjał wyniku. Matematycznie 400 metrów najlepiej więc opisywać jako konkurencję z wyraźnym momentem zmiany temapa, a nie jako prosty model jednorodnej degradacji tempa.

Na 800 i 1500 metrów krzywoliniowość profilu staje się najbardziej czytelna. Strategia dystrybucji energii zyskuje tu decydujące znaczenie, zwłaszcza w odniesieniu do środkowej fazy „cruise phase" i końcowego przyspieszenia (McGibbon i in., 2018; Morais i in., 2023). W tych konkurencjach profil nie musi prowadzić w końcówce do bezwzględnych wartości prędkości wyższych niż na początku, lecz jego końcowa modyfikacja jest wyraźna względem poprzedzających odcinków. Z perspektywy modelowej dobrze odpowiada to parabolicznemu

trendowi opisywanemu u najlepszych zawodników na 1500 metrów (Hołub i in., 2023) oraz obserwowanej u elity obecności end-spurt na dystansach długich (Neuloh i in., 2021).

W świetle analiz korelacyjnych i regresyjnych przedstawionych w wynikach szczególnego znaczenia nabierają odcinki końcowe. Im wyższe tempo końcówki względem części środkowej, tym korzystniejszy okazuje się wynik, co potwierdza, że finisz nie jest oddzielnym epizodem, lecz podsumowaniem całej wcześniejszej dystrybucji prędkości. Końcówka staje się zatem wskaźnikiem jakości całej strategii: jeśli zawodnik potrafi uruchomić intensyfikację w ostatnich segmentach, oznacza to, że wcześniejsze odcinki zostały rozegrane w sposób efektywny i pozwoliły zachować zdolność do generowania napędu oraz kontroli techniki mimo narastającego zmęczenia (McGibbon i in., 2018; Morais i in., 2023). Szczególnie interesujące jest przy tym to, że na 400 i 800 metrów większy wpływ na wynik może mieć tempo przedostatniego odcinka niż ostatniego, ponieważ sugeruje to większą wagę punktu zmiany nachylenia krzywej tempa: wcześniejsze rozpoczęcie przyspieszenia pozwala kumulować zysk czasowy na dłuższym fragmencie dystansu. Z kolei na 1500 metrów zbliżona waga dwóch końcowych faz może wskazywać na bardziej stopniowy charakter przyspieszenia, typowy dla dłuższych konkurencji (Neuloh i in., 2021).

Wyniki wzmacniają również wniosek, że krzywoliniowość długich wyścigów ma charakter adaptacyjny. Zbyt agresywny początek zwiększa różnicę między tempem początkowym i końcowym, wymusza późniejszy spadek prędkości i obniża rezultat. Oznacza to, że sama krzywoliniowość nie jest celem strategicznym; stanowi raczej skutek kompromisu między maksymalizacją prędkości a kontrolą kosztu zmęczeniowego. Korzystny profil tempa na dłuższych dystansach to taki, który ogranicza nadmierne odchylenia w pierwszej części wyścigu, pozwala utrzymać stabilność środka i pozostawia zasoby potrzebne do skutecznego domknięcia rywalizacji. Na poziomie syntetycznym całość wyników wskazuje więc na wspólną ramę rozkładu tempa — szybkie otwarcie i późniejsze spowolnienie — która wraz z wydłużaniem dystansu zostaje uzupełniona o rosnącą rolę stabilizacji środkowej części wyścigu i coraz wyraźniejszy komponent finiszu. Z tego względu opis odcinkowo-krzywoliniowy okazuje się nie tylko lepiej dopasowany statystycznie, lecz przede wszystkim lepiej zgodny z rzeczywistą logiką rywalizacji pływackiej na poziomie elity.

8. Implikacje praktyczne dla trenerów i sztabów szkoleniowych

Przedstawione w poprzednich częściach wyniki mają bezpośrednie znaczenie praktyczne, ponieważ wskazują, że pacing w pływaniu elitarnym nie jest zjawiskiem przypadkowym ani wyłącznie intuicyjną decyzją zawodnika podejmowaną w trakcie startu. Analiza dystansów 100, 200, 400, 800 i 1500 metrów pokazuje istnienie powtarzalnych, dystansowo specyficznych schematów rozkładu tempa, które tworzą możliwą do opisania strukturę wyścigu. Oznacza to, że praktyczne implikacje dla trenerów i zawodników nie powinny polegać na swobodnym poszukiwaniu „indywidualnej" strategii tempa, lecz na przygotowaniu zawodnika do realizacji schematu pacingowego właściwego dla danej konkurencji. W tym ujęciu optymalizacja nie oznacza zmiany samej logiki rozkładu prędkości, ale doskonalenie wykonania poszczególnych faz udokumentowanego wzorca: otwarcia, przejścia do części roboczej, stabilizacji lub kontrolowanego spadku oraz końcowej modyfikacji tempa.

Zasadnicza implikacja praktyczna wynika z faktu, że w pływaniu elitarnym nie potwierdza się prosty model równomiernego utrzymywania tempa na całym dystansie. Wyniki wskazują raczej na strukturę fazową, w której szybkie otwarcie jest elementem wspólnym, lecz jego funkcja zmienia się wraz z długością konkurencji. Na dystansach krótkich szybki początek ma znaczenie bezpośrednio wynikowe, ponieważ czas trwania wysiłku ogranicza możliwość późniejszego kompensowania strat. Na dystansach średnich szybkie otwarcie pozostaje istotne, ale musi zostać powiązane z kontrolą kosztu fizjologicznego w dalszej części wyścigu. Na dystansach długich natomiast początek pełni przede wszystkim funkcję organizującą, pozwalając wejść w rytm rywalizacji, ustalić pozycję i przygotować warunki dla stabilnej części środkowej oraz końcowego przyspieszenia. Trenerzy nie powinni więc traktować szybkiego otwarcia jako jednego, uniwersalnego zalecenia, lecz jako element różnych schematów dystansowych. W praktyce treningowej oznacza to konieczność nauczania zawodnika nie samego „mocnego początku", ale początku o funkcji zgodnej z wymaganiami konkurencji.

W konkurencjach sprinterskich podstawowym zadaniem treningu jest przygotowanie zawodnika do realizacji profilu, w którym bardzo wysoka prędkość początkowa zostaje połączona z możliwie ograniczoną degradacją tempa w dalszej części dystansu. W świetle wcześniejszych analiz nie należy oczekiwać, że końcówka sprintu będzie miejscem klasycznego przyspieszenia. Schemat pacingowy na krótkich dystansach ma charakter pozytywny: po bardzo szybkim otwarciu następuje spadek prędkości, a o jakości wykonania decyduje nie brak tego spadku, lecz jego wielkość i dynamika. Praktyczna konsekwencja jest

jednoznaczna: trening sprintera powinien koncentrować się na takim przygotowaniu startu, fazy podwodnej, wyjścia na powierzchnię i pierwszych cykli pływackich, aby zawodnik osiągał bardzo wysoką prędkość bez przedwczesnej utraty efektywności. Równocześnie końcowa część dystansu powinna być trenowana jako faza obrony prędkości, a nie jako odrębny finisz rozumiany w kategoriach dodatkowego przyspieszenia. Właśnie w tym miejscu widoczna jest praktyczna wartość odróżnienia „finiszu funkcjonalnego" od „finiszu rzeczywistego": w sprincie celem jest utrzymanie możliwie wysokiej prędkości mimo narastającego zmęczenia, a nie odwrócenie naturalnego kierunku zmian tempa.

Na dystansie 200 metrów udokumentowany schemat ma charakter przejściowy. Z jednej strony konkurencja ta nadal wymaga szybkiego otwarcia, z drugiej zaś zbyt duże wykorzystanie zasobów w pierwszej części dystansu prowadzi do nadmiernego spadku tempa w końcówce. Praktyczna implikacja polega więc na konieczności trenowania przejścia z fazy otwarcia do fazy roboczej. Nie jest to dystans, na którym zawodnik może dowolnie wybierać między strategią sprinterską a strategią średniodystansową. Wyniki sugerują raczej, że skuteczny schemat obejmuje szybki pierwszy odcinek, następnie kontrolę prędkości i próbę ograniczenia jej degradacji w drugiej połowie. Trenerzy powinni zatem szczególnie analizować nie tylko czas pierwszej i ostatniej długości, ale relację między pierwszym, drugim i trzecim odcinkiem dystansu. To właśnie tam ujawnia się, czy zawodnik realizuje właściwy schemat, czy też po szybkim otwarciu następuje zbyt gwałtowne załamanie tempa. W treningu 200 metrów kluczowe jest więc wielokrotne odtwarzanie sytuacji startowej, w której zawodnik po bardzo szybkim początku musi wejść w rytm umożliwiający utrzymanie prędkości bez technicznego rozpadu ruchu.

Szczególne znaczenie praktyczne ma dystans 400 metrów, który w świetle wcześniejszej dyskusji można traktować jako konkurencję graniczną. W tym przypadku schemat pacingowy nie może być redukowany ani do prostego sprintu wydłużonego, ani do klasycznie równomiernego wysiłku długiego. Wyniki wskazują, że decydująca jest tu relacja między początkowym zyskiem prędkości a późniejszym kosztem utrzymania tempa. Praktyczna optymalizacja strategii na 400 metrów powinna więc polegać na wytrenowaniu kontrolowanego spadku, a nie na dążeniu do całkowitej równomierności lub maksymalizacji pierwszych odcinków. Zbyt agresywne otwarcie zwiększa ryzyko gwałtownego załamania w drugiej połowie, natomiast zbyt zachowawcze obniża średnią prędkość i ogranicza potencjał wyniku. Trening powinien zatem odtwarzać strukturę wyścigu, w której po szybkim początku zawodnik utrzymuje wysoką prędkość w części środkowej i zachowuje możliwość skutecznego domknięcia dystansu. W praktyce oznacza to konieczność pracy nad punktem zmiany

nachylenia krzywej tempa, ponieważ właśnie ten moment może decydować o tym, czy spadek prędkości pozostaje kontrolowany, czy przyjmuje postać niekorzystnego załamania.

Na dystansach 800 i 1500 metrów implikacje treningowe wynikają z innego, wyraźnie udokumentowanego schematu. W tych konkurencjach najbardziej funkcjonalny profil obejmuje relatywnie szybkie otwarcie, stabilną część środkową oraz końcową intensyfikację. Nie oznacza to, że zawodnik powinien samodzielnie wybierać moment i sposób rozłożenia wysiłku w zależności od subiektywnych preferencji. Przeciwnie, zadaniem treningu jest przygotowanie go do realizacji struktury, w której środkowa część dystansu charakteryzuje się niską zmiennością tempa, a końcówka pozwala na zwiększenie prędkości względem wcześniejszych odcinków. W pływaniu długodystansowym stabilność środka nie jest biernym utrzymywaniem tempa, lecz aktywną kontrolą ekonomii ruchu. Zawodnik musi utrzymywać odpowiednią długość cyklu, częstotliwość pracy, rytm oddechowy, efektywność nawrotów i minimalizować niepotrzebne fluktuacje prędkości. Z praktycznego punktu widzenia oznacza to, że trening 800 i 1500 metrów powinien szczególnie mocno akcentować powtarzalność międzyczasów w części środkowej oraz zdolność do przyspieszenia po długim okresie kontrolowanego wysiłku.

Wyniki wskazujące na znaczenie końcowych odcinków mają również istotną wartość aplikacyjną. Finisz nie powinien być traktowany jako dodatkowa, oderwana od reszty wyścigu zdolność szybkościowa. W analizowanych schematach końcowa intensyfikacja jest konsekwencją wcześniejszego rozkładu tempa. Jeśli zawodnik zbyt agresywnie rozpocznie dystans lub zbyt mocno rozegra część środkową, końcowe przyspieszenie nie będzie możliwe albo przyjmie postać jedynie ograniczania strat. W praktyce oznacza to, że trening finiszu musi być powiązany z treningiem wcześniejszych faz wyścigu. Nie wystarczy ćwiczyć ostatnich 50 lub 100 metrów w izolacji. Należy odtwarzać taki przebieg wysiłku, w którym zawodnik najpierw realizuje właściwą dla dystansu strukturę tempa, a dopiero następnie przechodzi do końcowej modyfikacji prędkości. Szczególnie na 800 i 1500 metrów skuteczny finisz jest wskaźnikiem poprawnego wykonania całego schematu pacingowego, a nie wyłącznie przejawem rezerwy szybkościowej.

Z punktu widzenia trenerów szczególnie ważne jest więc traktowanie międzyczasów jako narzędzia kontroli zgodności wykonania z udokumentowanym wzorcem dystansowym. Czas końcowy sam w sobie nie pozwala ocenić, czy zawodnik zrealizował prawidłowy schemat tempa. Dwa podobne wyniki mogą wynikać z odmiennych przebiegów wyścigu, ale w kontekście niniejszych analiz nie oznacza to dowolności strategii. Oznacza raczej konieczność sprawdzenia, który przebieg jest bliższy schematowi właściwemu dla danej

konkurencji. Trener powinien analizować, czy szybkie otwarcie nie było nadmierne, czy środkowa część dystansu zachowała wymaganą stabilność, czy spadek prędkości miał charakter kontrolowany oraz czy końcówka była zgodna z oczekiwanym profilem. Optymalizacja polega więc na redukowaniu odchyleń od modelu dystansowego, a nie na tworzeniu alternatywnej strategii dla każdego zawodnika.

Istotną konsekwencją wyników jest także potrzeba specyficznego planowania jednostek treningowych. Pacing nie powinien być traktowany jako element omawiany dopiero przed zawodami, lecz jako stały komponent przygotowania. W treningu należy regularnie odtwarzać nie tylko całe dystanse, ale również ich charakterystyczne fazy. Dla 100 metrów oznacza to pracę nad maksymalnym, ale technicznie kontrolowanym początkiem oraz ograniczaniem strat w końcówce. Dla 200 metrów — pracę nad szybkim otwarciem i przejściem do utrzymania prędkości. Dla 400 metrów — pracę nad kontrolowanym spadkiem oraz momentem rozpoczęcia końcowej modyfikacji tempa. Dla 800 i 1500 metrów — pracę nad stabilnością części środkowej oraz zdolnością do intensyfikacji w końcowych odcinkach. W każdym przypadku punktem odniesienia nie jest subiektywne odczucie zawodnika, ale schemat dystansowy wynikający z analizy międzyczasów.

Ważne jest również, aby trenerzy nie interpretowali odchyleń od schematu wyłącznie jako problemu motorycznego. Zbyt szybkie otwarcie, brak stabilizacji środka lub nieobecność finiszu mogą wynikać z niewystarczającej kontroli tempa, błędnej oceny intensywności, nieprawidłowej techniki w warunkach zmęczenia albo nieadekwatnej realizacji założeń taktycznych. Jednak niezależnie od przyczyny punktem odniesienia pozostaje udokumentowany wzorzec pacingowy danej konkurencji. Praktyczna diagnoza powinna więc odpowiadać na pytanie, która faza schematu została wykonana nieprawidłowo. Jeśli zawodnik na 400 metrów traci zbyt dużo w drugiej połowie, problemem nie jest sama obecność spadku, lecz jego nadmierna skala. Jeśli zawodnik na 1500 metrów nie jest w stanie przyspieszyć w końcówce, problem może leżeć nie w ostatnich metrach, lecz w zbyt kosztownej części środkowej. Takie podejście pozwala przenieść analizę pacingu z poziomu ogólnych uwag na poziom konkretnych faz wyścigu.

W tym kontekście szczególnego znaczenia nabiera pojęcie optymalizacji strategii pacingowej. Nie należy go rozumieć jako poszukiwania odmiennego modelu dla każdego zawodnika, lecz jako proces doskonalenia realizacji modelu przypisanego do dystansu. Zawodnik może różnić się poziomem przygotowania, wartością prędkości bezwzględnej czy jakością elementów technicznych, ale struktura efektywnego rozkładu tempa pozostaje określona przez wymagania konkurencji. Innymi słowy, indywidualne mogą być wartości międzyczasów wynikające

z poziomu sportowego, lecz nie sama logika schematu. To rozróżnienie jest kluczowe dla praktycznego zastosowania wyników. Trener nie powinien pytać, jaki profil tempa „pasuje" do zawodnika, ale czy zawodnik potrafi zrealizować profil tempa wymagany przez konkurencję na poziomie odpowiadającym jego możliwościom wynikowym.

Na poziomie syntetycznym praktyczne implikacje niniejszych wyników prowadzą do wniosku, że pacing w pływaniu elitarnym powinien być traktowany jako wytrenowany, dystansowo specyficzny wzorzec dystrybucji prędkości. Trening powinien przygotowywać zawodników do powtarzalnej realizacji udokumentowanych schematów pacingowych, a nie jedynie do poprawy ogólnej wydolności czy szybkości. Tak rozumiana optymalizacja ma charakter ściśle pływacki i wynika z powtarzalnych struktur tempa właściwych dla poszczególnych konkurencji. Jej celem jest przygotowanie zawodnika do możliwie precyzyjnej, powtarzalnej i technicznie efektywnej realizacji tych schematów w warunkach rywalizacji.

Należy jednocześnie podkreślić, że przedstawione implikacje wynikają z analiz obejmujących zawodników poziomu elitarnego, dlatego ich bezpośrednie przenoszenie na niższe poziomy zaawansowania powinno być dokonywane z ostrożnością. Możliwe jest również, że szczegółowy przebieg schematów pacingowych różni się w zależności od stylu pływackiego, płci, poziomu specjalizacji oraz warunków rywalizacji. Nie zmienia to jednak zasadniczego wniosku, że rozkład tempa w pływaniu powinien być analizowany jako dystansowo specyficzna struktura wyścigu. W tym sensie uzyskane wyniki mogą stanowić praktyczną podstawę do interpretacji międzyczasów, oceny jakości realizacji strategii startowej oraz planowania akcentów treningowych zgodnych z udokumentowanymi schematami pacingowymi.

Wnioski

1. Uzyskane wyniki potwierdzają hipotezę badawczą, wskazując, że zawodnicy najwyższego poziomu, startujący w finałach najważniejszych imprez pływackich, prezentują zbliżone strategie rozkładu tempa. Oznacza to, że w wyścigach elity można zidentyfikować względnie ujednolicony i powtarzalny model zmian prędkości w kolejnych fazach dystansu.
2. Uzyskane wyniki potwierdzają hipotezę badawczą, wskazując, że największa dynamika zmian tempa występuje przede wszystkim w początkowej i końcowej fazie wyścigu, podczas gdy część środkowa charakteryzuje się relatywnie większą stabilnością prędkości. Zależność ta była szczególnie widoczna w porównaniu konkurencji sprinterskich i długodystansowych — w sprintach zmiany tempa miały bardziej gwałtowny charakter, natomiast na dłuższych dystansach większe znaczenie miało utrzymanie względnie równomiernego tempa w środkowej części wyścigu oraz odpowiednie rozegranie finiszu.
3. Uzyskane wyniki potwierdzają hipotezę badawczą, wskazując, że w konkurencjach krótkodystansowych dominuje strategia typu pozytywnego (positive pacing), przejawiająca się relatywnie szybszym pokonaniem początkowej części dystansu. Z kolei w wyścigach dłuższych rozkład tempa ma bardziej złożony charakter i najczęściej przyjmuje układ paraboliczny, z bardziej kontrolowanym początkiem, względnie stabilną częścią środkową oraz wyraźniejszym przyspieszeniem w końcowej fazie rywalizacji.
4. Uzyskane wyniki potwierdzają hipotezę badawczą, wskazując, że wraz ze wzrostem długości dystansu schemat rozkładu tempa przyjmuje coraz wyraźniej krzywoliniowy charakter. Oznacza to, że w konkurencjach dłuższych przebieg zmian prędkości jest bardziej nieliniowy, podczas gdy w wyścigach krótszych rozkład tempa pozostaje relatywnie bardziej zbliżony do modelu liniowego.

Streszczenie

Rozprawa doktorska poświęcona jest strategiom rozkładu tempa w pływaniu stylem dowolnym mężczyzn, ujmowanym modelowo na poziomie elity światowej. Celem pracy było opracowanie modelowych schematów rozkładu tempa w konkurencjach 100, 200, 400, 800 oraz 1500 m, rozgrywanych na długim basenie (50 metrowym). Podjęcie tej problematyki wynikało z niedostatku syntetycznych opracowań dotyczących rzeczywistych wzorców pacingowych w pływaniu wyczynowym, obejmujących pełne spektrum dystansów i opartych na materiale odnoszącym się do finałów najważniejszych imprez międzynarodowych. Dotychczasowe badania koncentrowały się najczęściej na pojedynczych wyścigach, wybranych zawodnikach lub określonych grupach dystansowych, co ograniczało możliwość identyfikacji dominujących i powtarzalnych schematów rozkładu tempa. Jednocześnie pływanie, ze względu na wysoki stopień standaryzacji warunków rywalizacji, stanowi szczególnie użyteczny model analizy strategii wysiłkowych.

Materiał badawczy obejmował wyniki finałów najważniejszych zawodów pływackich XXI wieku: igrzysk olimpijskich (6 edycji; Sydney 2000 – Tokio 2020), mistrzostw świata (13 edycji; Fukuoka 2001 – Doha 2024), mistrzostw Europy (11 edycji; Berlin 2002 – Rzym 2022), Commonwealth Games (5 edycji; Melbourne 2006 – Birmingham 2022) oraz mistrzostw Pan Pacific (4 edycje; Victoria 2006 – Tokio 2018). Analizie poddano po 312 wyników na dystansach 100 metrów, 311 wyników na dystansie 200 metrów, 303 wyniki na dystansie 400 metrów, 199 wyników na dystansie 800 metrów oraz 303 wyniki na dystansie 1500 metrów, co odpowiadało odpowiednio 624, 1244, 2424, 3184 oraz 9090 międzyczasom. Zgromadzony materiał poddano analizie statystycznej z wykorzystaniem analizy wariancji z powtarzanymi pomiarami, porównań post hoc z korektą Bonferroniego oraz ogólnych modeli liniowych. We wszystkich analizach przyjęto poziom istotności statystycznej $\alpha = 0,05$.

Wyniki badań potwierdziły przyjęte hipotezy badawcze i wykazały, że zawodnicy światowej klasy prezentują zbliżone strategie rozkładu tempa, co pozwala na wyodrębnienie względnie ujednoliconych modeli zmian prędkości w kolejnych fazach wyścigu. Stwierdzono, że największa dynamika zmian tempa występuje przede wszystkim w początkowej i końcowej części dystansu, podczas gdy jego część środkowa charakteryzuje się relatywnie większą stabilnością. Prawidłowość ta była szczególnie wyraźna w zestawieniu konkurencji

sprinterskich i długodystansowych: w sprintach zmiany tempa miały bardziej gwałtowny charakter, natomiast na dystansach dłuższych istotniejsze znaczenie miało utrzymanie względnie równomiernego tempa w środkowej fazie wyścigu oraz odpowiednie rozegranie finiszu. Wykazano ponadto, że w konkurencjach krótkodystansowych dominuje strategia typu pozytywnego (positive pacing), przejawiająca się relatywnie szybszym pokonaniem początkowej części dystansu, podczas gdy w wyścigach dłuższych rozkład tempa częściej przyjmuje układ paraboliczny, z bardziej kontrolowanym początkiem, stabilniejszą częścią środkową oraz wyraźniejszym przyspieszeniem w końcowej fazie rywalizacji. Wraz ze wzrostem długości dystansu schemat rozkładu tempa nabiera coraz bardziej krzywoliniowego charakteru, co wskazuje na większą złożoność strategii pacingowych w konkurencjach długich.

Oryginalny wkład rozprawy polega na identyfikacji oraz modelowym opisie dominujących wzorców rozkładu tempa w pływaniu stylem dowolnym mężczyzn na dystansach 100–1500 metrów na podstawie szerokiego materiału empirycznego obejmującego finały najważniejszych imprez pływackich XXI wieku. Uzyskane wyniki poszerzają wiedzę na temat mechanizmów osiągania sukcesu sportowego w pływaniu wyczynowym i mogą stanowić podstawę do doskonalenia strategii startowej, kontroli przebiegu wyścigu oraz optymalizacji procesu treningowego.

Summary

This doctoral dissertation examines pacing strategies in men's freestyle swimming, approached from a model-based perspective at the world-class elite level. The aim of the study was to develop model pacing patterns for the 100, 200, 400, 800, and 1500 m freestyle events held in a long-course pool (50 m). The rationale for undertaking this topic stemmed from the lack of comprehensive studies on actual pacing patterns in competitive swimming that would cover the full range of race distances and be based on material derived from the finals of the most important international competitions. Previous research has usually focused on individual races, selected athletes, or specific distance groups, which has limited the possibility of identifying dominant and repeatable pacing patterns. At the same time, swimming, due to the high degree of standardization of competition conditions, constitutes a particularly useful model for the analysis of pacing strategies.

The research material comprised results from the finals of the most important swimming competitions of the 21st century: the Olympic Games (6 editions; Sydney 2000–Tokyo 2020), the World Championships (13 editions; Fukuoka 2001–Doha 2024), the European Championships (11 editions; Berlin 2002–Rome 2022), the Commonwealth Games (5 editions; Melbourne 2006–Birmingham 2022), and the Pan Pacific Championships (4 editions; Victoria 2006–Tokyo 2018). The analysis included 312 results in the 100 m event, 311 results in the 200 m event, 303 results in the 400 m event, 199 results in the 800 m event, and 303 results in the 1500 m event, corresponding to 624, 1244, 2424, 3184, and 9090 split times, respectively. The collected material was subjected to statistical analysis using repeated-measures analysis of variance, post hoc comparisons with Bonferroni correction, and general linear models. In all analyses, the level of statistical significance was set at $\alpha = 0.05$.

The results confirmed the adopted research hypotheses and demonstrated that world-class athletes display similar pacing strategies, which makes it possible to distinguish relatively unified models of speed variation across successive phases of the race. It was found that the greatest dynamics of pace changes occur primarily in the initial and final parts of the race, whereas the middle section is characterized by relatively greater speed stability. This pattern was particularly evident when sprint and long-distance events were compared: in sprint races, pace changes were more abrupt, whereas in longer races, greater importance was attached

to maintaining a relatively even pace in the middle phase of the race and to the appropriate execution of the finishing section. Furthermore, it was demonstrated that a positive split strategy predominates in short-distance events, manifested by a relatively faster completion of the initial part of the race, whereas in longer races the pacing pattern more often assumes a parabolic form, with a more controlled start, a more stable middle section, and a more pronounced acceleration in the final phase of the race. As race distance increases, the pacing pattern becomes increasingly curvilinear, indicating greater complexity of pacing strategies in long-distance events.

The original contribution of the dissertation lies in the identification and model-based description of dominant pacing patterns in men's freestyle swimming over distances ranging from 100 to 1500 m, based on extensive empirical material covering the finals of the most important swimming competitions of the 21st century. The obtained findings expand current knowledge of the mechanisms underlying sporting success in competitive swimming and may provide a basis for improving race strategy, monitoring race execution, and optimizing the training process.

Bibliografia

Abbiss, C. R., & Laursen, P. B. (2005). Models to explain fatigue during prolonged endurance cycling. *Sports Medicine*, *35*(10). https://doi.org/10.2165/00007256-200535100-00004

Abbiss, C. R., & Laursen, P. B. (2008). Describing and understanding pacing strategies during athletic competition. In *Sports Medicine* (Vol. 38, Number 3, pp. 239–252). https://doi.org/10.2165/00007256-200838030-00004

Arellano, R., Ruiz-Navarro, J. J., Barbosa, T. M., López-Contreras, G., Morales-Ortíz, E., Gay, A., López-Belmonte, Ó., González-Ponce, Á., & Cuenca-Fernández, F. (2022). Are the 50 m Race Segments Changed From Heats to Finals at the 2021 European Swimming Championships? *Frontiers in Physiology*, *13*. https://doi.org/10.3389/fphys.2022.797367

Aspenes, S., Kjendlie, P. L., Hoff, J., & Helgerud, J. (2009). Combined strength and endurance training in competitive swimmers. *Journal of Sports Science and Medicine*, *8*(3), 357–365.

Atkinson, G., & Brunskill, A. (2000). Pacing strategies during a cycling time trial with simulated headwinds and tailwinds. *Ergonomics*, *43*(10). https://doi.org/10.1080/001401300750003899

Atkinson, G., Peacock, O., & Law, M. (2007). Acceptability of power variation during a simulated hilly time trial. *International Journal of Sports Medicine*, *28*(2). https://doi.org/10.1055/s-2006-924209

Barbosa, T. M., Bragada, J. A., Reis, V. M., Marinho, D. A., Carvalho, C., & Silva, A. J. (2010). Energetics and biomechanics as determining factors of swimming performance: Updating the state of the art. In *Journal of Science and Medicine in Sport* (Vol. 13, Number 2). https://doi.org/10.1016/j.jsams.2009.01.003

Barbosa, T. M., Costa, M. J., & Marinho, D. A. (2013). Proposal of a deterministic model to explain swimming performance. *International Journal of Swimming Kinetics*, *2*(1).

Bishop, D., Bonetti, D., & Dawson, B. (2002). The influence of pacing strategy on VO2 and supramaximal kayak performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *34*(6). https://doi.org/10.1097/00005768-200206000-00022

Bond, J. W., Miller, B. P., & Chrisfield, P. M. (1988). Psychological prediction of injury in elite swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, *9*(5). https://doi.org/10.1055/s-2007-1025038

Bouvet, A., & Bideau, N. (2025). Distinctive Regulation Profiles of Stroke Mechanics Underlie Pacing and Discriminate 400 m Front-Crawl Performance. *Journal of Sports Science and Medicine*, *24*(4). https://doi.org/10.52082/jssm.2025.891

Brick, N. E., MacIntyre, T. E., & Campbell, M. J. (2016). Thinking and action: A cognitive perspective on self-regulation during endurance performance. *Frontiers in Physiology*, *7*(APR). https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00159

Brick, N., MacIntyre, T., & Campbell, M. (2014). Attentional focus in endurance activity: new paradigms and future directions. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, *7*(1). https://doi.org/10.1080/1750984X.2014.885554

Campos, E. Z., Kalva-Filho, C. A., Gobbi, R. B., Barbieri, R. A., Almeida, N. P., & Papoti, M. (2017). Anaerobic contribution determined in swimming distances: Relation with performance. *Frontiers in Physiology*, *8*(OCT). https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00755

Capelli, C., Pendergast, D. R., & Termin, B. (1998). Energetics of swimming at maximal speeds in humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *78*(5). https://doi.org/10.1007/s004210050435

Carmigniani, R., Seifert, L., Chollet, D., & Clanet, C. (2020). Coordination changes in front-crawl swimming. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, *476*(2237). https://doi.org/10.1098/rspa.2020.0071

Casado, A., Hanley, B., Jiménez-Reyes, P., & Renfree, A. (2021). Pacing profiles and tactical behaviors of elite runners. In *Journal of Sport and Health Science* (Vol. 10, Number 5). https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.06.011

Castro, F., & Guimaraes, A. C. (2006). Front crawl kinematic: Breathing and pace acute effects. In *Biomechanics and Medicine in Swimming X* (Vol. 6, Number Suppl. 2).

Castro, F., Minghelli, F., Floss, J., & Guimaraes, A. (2003). Body roll angles in front crawl swimming at different velocities. *Biomechanics and Medicine in Swimming IX*.

Chollet, D., Chalies, S., & Chatard, J. C. (2000). A new index of coordination for the crawl: Description and usefulness. *International Journal of Sports Medicine*, *21*(1). https://doi.org/10.1055/s-2000-8855

Corbett, J. (2009). An analysis of the pacing strategies adopted by elite athletes during track cycling. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *4*(2). https://doi.org/10.1123/ijspp.4.2.195

Craig, A. B., Skehan, P. L., Pawelczyk, J. A., & Boomer, W. L. (1985). Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimmwng competition. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *17*(6). https://doi.org/10.1249/00005768-198512000-00001

Cuenca-Fernández, F., Boullosa, D., Ruiz-Navarro, J. J., Gay, A., Morales-Ortíz, E., López-Contreras, G., & Arellano, R. (2023). Lower fatigue and faster recovery of ultra-short race pace swimming training sessions. *Research in Sports Medicine*, *31*(1). https://doi.org/10.1080/15438627.2021.1929227

Damasceno, M., Correia-Oliveira, C. R., Narita, T., Pasqua, L., Bueno, S., Lima-Silva, A. E., & Bertuzzi, R. (2013). Pacing strategy adopted in crawl swimming competitions: An analysis of the 800-m and 1500-m distances. *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano*, *15*(3), 361–370.

De Jesus, K., De Jesus, K., Fernandes, R. J., Vilas-Boas, J. P., & Sanders, R. (2014). The backstroke swimming start: State of the art. *Journal of Human Kinetics*, *42*(1). https://doi.org/10.2478/hukin-2014-0058

de Koning, J. J., Foster, C., Bakkum, A., Kloppenburg, S., Thiel, C., Joseph, T., Cohen, J., & Porcari, J. P. (2011). Regulation of pacing strategy during athletic competition. *PLoS ONE*, *6*(1). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0015863

De Morree, H. M., & Marcora, S. M. (2013). Effects of isolated locomotor muscle fatigue on pacing and time trial performance. *European Journal of Applied Physiology*, *113*(9). https://doi.org/10.1007/s00421-013-2673-0

Delgado-Gonzalo, R., Lemkaddem, A., Renevey, P., Calvo, E. M., Lemay, M., Cox, K., Ashby, D., Willardson, J., & Bertschi, M. (2016). Real-time monitoring of swimming performance. *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS*, *2016-October*. https://doi.org/10.1109/EMBC.2016.7591787

Demarie, S., Pycke, J. R., Pizzuti, A., & Billat, V. (2023). Pacing Strategy of 800 m and 1500 m Freestyle Swimming Finals in the World Championships According to the Performance in Males and Females of Different Age Groups. *Applied Sciences (Switzerland)*, *13*(18). https://doi.org/10.3390/app131810515

Dormehl, S., & Osborough, C. (2015). Effect of age, sex, and race distance on front crawl stroke parameters in subelite adolescent swimmers during competition. *Pediatric Exercise Science*, *27*(3). https://doi.org/10.1123/pes.2014-0114

Elferink-Gemser, M. T., & Hettinga, F. J. (2017). Pacing and self-regulation: Important skills for talent development in endurance sports. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *12*(6). https://doi.org/10.1123/ijspp.2017-0080

Ferguson, C. J. (2009). An Effect Size Primer: A Guide for Clinicians and Researchers. *Professional Psychology: Research and Practice*, *40*(5). https://doi.org/10.1037/a0015808

Fernandes, R. J., Carvalho, D. D., & Figueiredo, P. (2024). Training zones in competitive swimming: a biophysical approach. *Frontiers in Sports and Active Living*, *6*. https://doi.org/10.3389/fspor.2024.1363730

Fernandes, R. J., Sousa, M., MacHado, L., & Vilas-Boas, J. P. (2011). Step length and individual anaerobic threshold assessment in swimming. *International Journal of Sports Medicine*, *32*(12). https://doi.org/10.1055/s-0031-1283189

Fernandes, R. J., & Vilas-Boas, J. P. (2012). Time to exhaustion at the VO2max velocity in swimming: A review. In *Journal of Human Kinetics* (Vol. 32, Number 1). https://doi.org/10.2478/v10078-012-0029-1

Forgas, J. P., Baumeister, R. F., & Tice, D. M. (2011). The psychology of self-regulation: An introductory review. In *Psychology of Self-Regulation: Cognitive, Affective, and Motivational Processes*. https://doi.org/10.4324/9780203837962

Fortes, L. S., Lira, H. A. A. S., de Lima, R. C. R., Almeida, S. S., & Ferreira, M. E. C. (2016). Mental training generates positive effect on competitive anxiety of young swimmers? *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano*, *18*(3). https://doi.org/10.5007/1980-0037.2016v18n3p353

Foster, C., de Koning, J. J., Hettinga, F. J., Barroso, R., Boullosa, D., Casado, A., Cortis, C., Fusco, A., Gregorich, H., Jaime, S., Jones, A. M., Malterer, K. R., Pettitt, R., Porcari, J. P., Pratt, C., Reinschmidt, P., Skiba, P., Splinter, A., St Clair Gibson, A., … van Tunen, J. (2023). Competition Between Desired Competitive Result, Tolerable Homeostatic Disturbance, and Psychophysiological Interpretation Determines Pacing Strategy. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *18*(4). https://doi.org/10.1123/ijspp.2022-0171

Gonjo, T., & Olstad, B. H. (2021). Race analysis in competitive swimming: A narrative review. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 18, Number 1). https://doi.org/10.3390/ijerph18010069

Gordon, D., Baker, J., Roberts, J., Basevitch, I., Merzbach, V., & Scruton, A. (2015). Pacing accuracy during an incremental step test in adolescent swimmers. *Open Access Journal of Sports Medicine*. https://doi.org/10.2147/oajsm.s84906

Gorskova, V., Abele, A., Solovjova, J., & Gabrielyan, H. (2025). Evaluating the Correlation between 16-17 Aged Swimmers' Pre-Competitive Anxiety Levels and Performance Outcomes. *Physical Education Theory and Methodology*, *25*(4). https://doi.org/10.17309/tmfv.2025.4.12

Hering, G. O., & Stepan, J. (2021). The Maximal Lactate Steady State Workload Determines Individual Swimming Performance. *Frontiers in Physiology*, *12*. https://doi.org/10.3389/fphys.2021.668123

Hettinga, F. J., Konings, M. J., & Pepping, G. J. (2017). The science of racing against opponents: Affordance competition and the regulation of exercise intensity in head-to-head competition. *Frontiers in Physiology*, *8*(FEB). https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00118

Hoffman, M. D. (2014). Pacing by winners of a 161-km mountain ultramarathon. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *9*(6). https://doi.org/10.1123/ijspp.2013-0556

Holfelder, B., Brown, N., & Bubeck, D. (2013). The Influence of Sex, Stroke and Distance on the Lactate Characteristics in High Performance Swimming. *PLoS ONE*, *8*(10). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077185

Hołub, M., Prajzner, A., & Stanula, A. (2023). Pacing Strategy Models in 1500 m Male Freestyle Long-Course Swimming on the Basis of the All-Time Ranking. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *20*(6). https://doi.org/10.3390/ijerph20064809

Keiner, M., Wirth, K., Fuhrmann, S., Kunz, M., Hartmann, H., & Haff, G. G. (2021). The Influence of Upper- and Lower-Body Maximum Strength on Swim Block Start, Turn, and Overall Swim Performance in Sprint Swimming. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *35*(10), 2839–2845. https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003229

Lara, B., & Del Coso, J. (2021). Pacing strategies of 1500 m freestyle swimmers in the world championships according to their final position. *International Journal of*

Environmental Research and Public Health, *18*(14), 7559. https://doi.org/10.3390/ijerph18147559

Leite Silva, R. C., Leite, L. B., Rosado, D. G., da Silva, D. C., & Lavorato, V. N. (2022). Analysis of pacing in 200m breaststroke and butterfly swimmers in the 2021 Olympic Games. *Asian Exercise and Sport Science Journal*, *6*(1), 94–98. https://doi.org/doi.org/10.30472/aesj.v6i1.345

Lipińska, P., Allen, S. V., & Hopkins, W. G. (2016). Modeling parameters that characterize pacing of elite female 800-m freestyle swimmers. *European Journal of Sport Science*, *16*(3), 287–292. https://doi.org/10.1080/17461391.2015.1013996

Lipinska, P., Allen, S. V., & Hopkins, W. G. (2016). Relationships between pacing parameters and performance of elite male 1500-m swimmers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *11*(2), 159–163. https://doi.org/10.1123/ijspp.2015-0117

Lipinska, P., & Hopkins, W. G. (2020). PACING PROFILES AND COMPETITIVE PERFORMANCE OF ELITE FEMALE 400-M FREESTYLE SWIMMERS. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *34*(1). https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002187

López-Belmonte, Ó., Baldassarre, R., Ruiz-Navarro, J. J., Bonifazi, M., Arellano, R., & Piacentini, M. F. (2025). Lactate Threshold and Swimming Performance in World-Class Open-Water Swimmers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *20*(2). https://doi.org/10.1123/ijspp.2024-0342

López-Belmonte, Ó., Ruiz-Navarro, J. J., Gay, A., Cuenca-Fernández, F., Cejuela, R., & Arellano, R. (2023). Determinants of 1500-m Front-Crawl Swimming Performance in Triathletes: Influence of Physiological and Biomechanical Variables. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *18*(11). https://doi.org/10.1123/ijspp.2023-0157

Mauger, A. R., Neuloh, J., & Castle, P. C. (2012). Analysis of pacing strategy selection in elite 400-m freestyle swimming. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *44*(11), 2205–2212. https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182604b84

McCormick, A., Meijen, C., Anstiss, P. A., & Jones, H. S. (2019). Self-regulation in endurance sports: theory, research, and practice. In *International Review of Sport and Exercise Psychology* (Vol. 12, Number 1). https://doi.org/10.1080/1750984X.2018.1469161

McGibbon, K. E., Pyne, D. B., Heidenreich, L. E., & Pla, R. (2021). A novel method to characterize the pacing profile of elite male 1500-m freestyle swimmers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *16*(6). https://doi.org/10.1123/ijspp.2020-0375

McGibbon, K. E., Pyne, D. B., Shephard, M. E., & Thompson, K. G. (2018). Pacing in Swimming: A Systematic Review. In *Sports Medicine* (Vol. 48, Number 7, pp. 1621–1633). https://doi.org/10.1007/s40279-018-0901-9

Menting, S. G. P., Elferink-Gemser, M. T., Huijgen, B. C., & Hettinga, F. J. (2019). Pacing in lane-based head-to-head competitions: A systematic review on swimming. *Journal of Sports Sciences*, *37*(20). https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1627989

Mooney, R., Corley, G., Godfrey, A., Osborough, C., Quinlan, L. R., & ÓLaighin, G. (2015). Application of Video-Based Methods for Competitive Swimming Analysis: A Systematic Review. *Sports and Exercise Medicine - Open Journal*, *1*(5). https://doi.org/10.17140/semoj-1-121

Morais, J. E., Barbosa, T. M., Forte, P., Bragada, J. A., Castro, F. A. de S., & Marinho, D. A. (2023). Stability analysis and prediction of pacing in elite 1500 m freestyle male swimmers. *Sports Biomechanics*, *22*(11). https://doi.org/10.1080/14763141.2020.1810749

Morais, J. E., Oliveira, J. P., Sampaio, T., & Barbosa, T. M. (2022). Wearables in Swimming for Real-Time Feedback: A Systematic Review. In *Sensors* (Vol. 22, Number 10). https://doi.org/10.3390/s22103677

Moser, C., Sousa, C. V., Olher, R. R., Nikolaidis, P. T., & Knechtle, B. (2020). Pacing in world-class age group swimmers in 100 and 200 m freestyle, backstroke, breaststroke, and butterfly. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(11). https://doi.org/10.3390/ijerph17113875

Mountjoy, M., Junge, A., Alonso, J. M., Clarsen, B., Pluim, B. M., Shrier, I., Van Den Hoogenband, C., Marks, S., Gerrard, D., Heyns, P., Kaneoka, K., Dijkstra, H. P., & Khan, K. M. (2016). Consensus statement on the methodology of injury and illness surveillance in FINA (aquatic sports). *British Journal of Sports Medicine*, *50*(10), 590–596. https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095686

Muehlbauer, T., Panzer, S., & Schindler, C. (2010). Pacing pattern and speed skating performance in competitive long-distance events. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *24*(1), 114–119. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c6a04a

Muehlbauer, T., Schindler, C., & Panzer, S. (2010). Pacing and performance in competitive middle-distance speed skating. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *81*(1). https://doi.org/10.1080/02701367.2010.10599622

Mytton, G. J., Archer, D. T., Turner, L., Skorski, S., Renfree, A., Thompson, K. G., & Gibson, A. S. C. (2015). Increased variability of lap speeds: Differentiating medalists and nonmedalists in middle-distance running and swimming events. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *10*(3). https://doi.org/10.1123/ijspp.2014-0207

Neuloh, J. E., Skorski, S., Mauger, L., Hecksteden, A., & Meyer, T. (2021). Analysis of end-spurt behaviour in elite 800-m and 1500-m freestyle swimming. *European Journal of Sport Science*, *21*(12). https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1851772

Nicol, E., Pearson, S., Saxby, D., Minahan, C., & Tor, E. (2022). Stroke Kinematics, Temporal Patterns, Neuromuscular Activity, Pacing and Kinetics in Elite Breaststroke Swimming: A Systematic Review. In *Sports Medicine - Open* (Vol. 8, Number 1). https://doi.org/10.1186/s40798-022-00467-2

Nikitakis, I. S., & Toubekis, A. G. (2021). Lactate Threshold Evaluation in Swimmers: The Importance of Age and Method. *International Journal of Sports Medicine*, *42*(9). https://doi.org/10.1055/a-1342-7446

Nikolaidis, P. T., & Knechtle, B. (2017). Pacing in age-group freestyle swimmers at The XV FINA World Masters Championships in Montreal 2014. *Journal of Sports Sciences*, *35*(12), 1165–1172. https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1213412

Oliveira, M. F. M., Caputo, F., Lucas, R. D., Denadai, B. S., & Greco, C. C. (2012). Physiological and stroke parameters to assess aerobic capacity in swimming. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *7*(3). https://doi.org/10.1123/ijspp.7.3.218

Padilla, S., Mujika, I., Angulo, F., & Goiriena, J. J. (2000). Scientific approach to the 1-h cycling world record: A case study. *Journal of Applied Physiology*, *89*(4). https://doi.org/10.1152/jappl.2000.89.4.1522

Pageaux, B., & Lepers, R. (2018). The effects of mental fatigue on sport-related performance. In *Progress in Brain Research* (Vol. 240). https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2018.10.004

Papadimitriou, K. (2024). Intensity and Pace Calculation of Ultra Short Race Pace Training (USRPT) in Swimming—Take-Home Messages and Statements for

Swimming Coaches. In *Sports* (Vol. 12, Number 8). https://doi.org/10.3390/sports12080227

Pavlidou, M., & Doganis, G. (2008). The effects of a psychological intervention program in swimming. *Journal of Excellence*, *12*(12).

Payton, C. J., Bartlett, R. M., Baltzopoulos, V., & Coombs, R. (1999). Upper extremity kinematics and body roll during preferred-side breathing and breath-holding front crawl swimming. *Journal of Sports Sciences*, *17*(9). https://doi.org/10.1080/026404199365551

Pelarigo, J. G., Fernandes, R. J., Ribeiro, J., Denadai, B. S., Greco, C. C., & Vilas-Boas, J. P. (2018). Comparison of different methods for the swimming aerobic capacity evaluation. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *32*(12). https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000001873

Pelarigo, J. G., Machado, L., Fernandes, R. J., Greco, C. C., & Vilas-Boas, J. P. (2017). Oxygen uptake kinetics and energy system's contribution around maximal lactate steady state swimming intensity. *PLoS ONE*, *12*(2). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167263

Polski Związek Pływacki. (2026, March). *Przepisy pływania World Aquatics*. Polski Związek Pływacki.

Pryor, J. L., Johnson, E. C., Yoder, H. A., & Looney, D. P. (2020). Keeping Pace: A Practitioner-Focused Review of Pacing Strategies in Running. *Strength and Conditioning Journal*, *42*(1). https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000505

Psycharakis, S. G., Cooke, C. B., Paradisis, G. P., O'Hara, J., & Phillips, G. (2008). Analysis of selected kinematic and physiological performance determinants during incremental testing in elite swimmers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *22*(3), 951–957. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31816a6364

Pyne, D. B., Lee, H., & Swanwick, K. M. (2001). Monitoring the lactate threshold in world-ranked swimmers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *33*(2). https://doi.org/10.1097/00005768-200102000-00019

Quagliarotti, C., Cortesi, M., Coloretti, V., Fantozzi, S., Gatta, G., Bonifazi, M., Zamparo, P., & Piacentini, M. F. (2023). The Effects of a Wetsuit on Biomechanical, Physiological, and Perceptual Variables in Experienced Triathletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *18*(2). https://doi.org/10.1123/ijspp.2022-0029

Rakowski, M. (2020). *Sportowy trening pływacki: Współczesne metody treningu pływackiego* (4th ed.). Maciej Rakowski.

Ribeiro, J., De Jesus, K., Figueiredo, P., Toussaint, H., Guidetti, L., Alves, F., Paulo Vilas-Boas, J., & Fernandes, R. J. (2013). Biomechanical determinants of force production in front crawl swimming. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness J Sports Med Phys Fitness*, *53*(3).

Robertson, E., Pyne, D., Hopkins, W., & Anson, J. (2009). Analysis of lap times in international swimming competitions. *Journal of Sports Sciences*, *27*(4), 387–395. https://doi.org/10.1080/02640410802641400

Ruiz-Navarro, J. J., Santos, C. C., Born, D. P., López-Belmonte, Ó., Cuenca-Fernández, F., Sanders, R. H., & Arellano, R. (2025). Factors Relating to Sprint Swimming Performance: A Systematic Review. In *Sports Medicine* (Vol. 55, Number 4). https://doi.org/10.1007/s40279-024-02172-4

Saavedra, J. M., Escalante, Y., Garcia-Hermoso, A., Arellano, R., & Navarro, F. (2012). A 12-year analysis of pacing strategies in 200- and 400-m individual medley in international swimming competitions. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *26*(12). https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318248aed5

Sandals, L. E., Wood, D. M., Draper, S. B., & James, D. V. B. (2006). Influence of pacing strategy on oxygen uptake during treadmill middle-distance running. *International Journal of Sports Medicine*, *27*(1). https://doi.org/10.1055/s-2005-837468

Sanders, R. H., & McCabe, C. B. (2015). Science of Swimming Faster. In S. Riewald (Ed.), *Science of Swimming Faster* (pp. 23–50). Human Kinetics.

Ścibor-Rylski, M. (2013). Miary związku między zmiennymi – współczynniki korelacji. In *Statystyczny drogowskaz 1. Praktyczne wprowadzenie do wnioskowania statystycznego* (pp. 195–222). Wydawnictwo Akademickie Sedno.

Seifert, L., Chehensse, A., Tourny-Chollet, C., Lemaitre, F., & Chollet, D. (2008). Effect of breathing pattern on arm coordination symmetry in front crawl. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *22*(5). https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318182029d

Seifert, L., & Chollet, D. (2010). Modelling Arm Coordination in Front Crawl. *XIth International Symposium for Biomechanics & Medicine in Swimming*, (11).

Seifert, L., Leblanc, H., Chollet, D., & Delignières, D. (2010). Inter-limb coordination in swimming: Effect of speed and skill level. *Human Movement Science*, *29*(1). https://doi.org/10.1016/j.humov.2009.05.003

Silva, A. F., Seifert, L., Fernandes, R. J., Vilas Boas, J. P., & Figueiredo, P. (2025). Front crawl swimming coordination: a systematic review. In *Sports Biomechanics* (Vol. 24, Number 2). https://doi.org/10.1080/14763141.2022.2125428

Silva, G. C. B., Cortez, A. C. L., Do Nascimento Júnior, J. R. A., Granja, C. T. L., Conde, E. F. Q., & De Melo, G. F. (2019). Analysis of pre-competitive anxiety of Brazilian young swimmers. *Acta Scientiarum - Health Sciences*, *41*(1). https://doi.org/10.4025/actascihealthsci.v41i1.45475

Skorski, S. (2015). *Pacing in Swimming – Variability and Effects of Manipulation*. Saarland University.

Skorski, S., & Abbiss, C. R. (2017). The manipulation of pace within endurance sport. In *Frontiers in Physiology* (Vol. 8, Number FEB). https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00102

Skorski, S., Faude, O., Caviezel, S., & Meyer, T. (2014). Reproducibility of pacing profiles in elite swimmers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *9*(2), 217–225. https://doi.org/10.1123/IJSPP.2012-0258

Smith, D. J., Norris, S. R., & Hogg, J. M. (2002). Performance evaluation of swimmers: Scientific tools. In *Sports Medicine* (Vol. 32, Number 9). https://doi.org/10.2165/00007256-200232090-00001

Smits, B. L. M., Pepping, G. J., & Hettinga, F. J. (2014). Pacing and decision making in sport and exercise: The roles of perception and action in the regulation of exercise intensity. In *Sports Medicine* (Vol. 44, Number 6). https://doi.org/10.1007/s40279-014-0163-0

Stanula, A., Strzała, M., Ostrowski, A., Niegot, M., & Sadowski, W. (2015). Rozkład tempa pływania na dystansie 200 m stylem dowolnym w latach 2000–2012 / Distribution of swimming pace on a distance of 200 m freestyle in the years 2000–2012. In *Ratownictwo wodne, sport pływacki i kultura fizyczna w teorii i praktyce / Water Rescue Service, Swimming and Physical Culture in the Theory and Practice* (pp. 188–201). Akademia Wychowania Fizycznego i Sportu im. Jędrzeja Śniadeckiego, Gdańsk, Poland.

Staunton, C. A., Ruiz-Navarro, J. J., & Born, D. P. (2025). Stroke rate–stroke length dynamics in elite freestyle swimming: application of kernel density estimation. *Frontiers in Sports and Active Living*, *7*. https://doi.org/10.3389/fspor.2025.1656633

Stoter, I. K., Macintosh, B. R., Fletcher, J. R., Pootz, S., Zijdewind, I., & Hettinga, F. J. (2016). Pacing strategy, muscle fatigue, and technique in 1500-m speed-skating and

cycling time trials. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *11*(3). https://doi.org/10.1123/ijspp.2014-0603

Taylor, J. B., Santi, G., & Mellalieu, S. D. (2016). Freestyle race pacing strategies (400 m) of elite able-bodied swimmers and swimmers with disability at major international championships. *Journal of Sports Sciences*, *34*(20). https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1142108

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). https://doi.org/10.1080/02640414.2012.701759

Thompson, K. G., Haljand, R., & Maclaren, D. P. (2000). An analysis of selected kinematic variables in national and elite male and female 100-m and 200-m breaststroke swimmers. *Journal of Sports Sciences*, *18*(6). https://doi.org/10.1080/02640410050074359

Thompson, K. G., MacLaren, D. P., Lees, A., & Atkinson, G. (2003). The effect of even, positive and negative pacing on metabolic, kinematic and temporal variables during breaststroke swimming. *European Journal of Applied Physiology*, *88*(4–5). https://doi.org/10.1007/s00421-002-0715-0

Thompson, K. G., MacLaren, D. P. M., Lees, A., & Atkinson, G. (2004). The effects of changing pace on metabolism and stroke characteristics during high-speed breaststroke swimming. *Journal of Sports Sciences*, *22*(2). https://doi.org/10.1080/02640410310001641467

Toussaint, H. M. (1992). Performance Determining Factors in Front Crawl Swimming. *Biomechanics and Medicine in Swimming. Swimming Science VI*.

Toussaint, H. M., & Beek, P. J. (1992). Biomechanics of Competitive Front Crawl Swimming. In *Sports Medicine: An International Journal of Applied Medicine and Science in Sport and Exercise* (Vol. 13, Number 1). https://doi.org/10.2165/00007256-199213010-00002

Tucker, R., & Noakes, T. D. (2009). The physiological regulation of pacing strategy during exercise: A critical review. In *British Journal of Sports Medicine* (Vol. 43, Number 6, pp. 1–9). https://doi.org/10.1136/bjsm.2009.057562

Tucker, R., Rauch, L., Harley, Y. X. R., & Noakes, T. D. (2004). Impaired exercise performance in the heat is associated with an anticipatoiy reduction in skeletal muscle recruitment. *Pflugers Archiv European Journal of Physiology*, *448*(4). https://doi.org/10.1007/s00424-004-1267-4

Veiga, S., & Roig, A. (2016). Underwater and surface strategies of 200 m world level swimmers. *Journal of Sports Sciences*, *34*(8). https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1069382

Wu, S. S. X., Abbiss, C., Peiffer, J., Brisswalter, J., & Nosaka, K. (2014). Factors influencing pacing in triathlon. *Open Access Journal of Sports Medicine*. https://doi.org/10.2147/oajsm.s44392

Zacca, R., Wenzel, B. M., Piccin, J. S., Marcilio, N. R., Lopes, A. L., & De Souza Castro, F. A. (2010). Critical velocity, anaerobic distance capacity, maximal instantaneous velocity and aerobic inertia in sprint and endurance young swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, *110*(1). https://doi.org/10.1007/s00421-010-1479-6

Zamparo, P., Pendergast, D. R., Mollendorf, J., Termin, A., & Minetti, A. E. (2005). An energy balance of front crawl. *European Journal of Applied Physiology*, *94*(1–2). https://doi.org/10.1007/s00421-004-1281-4

Załącznik 1. Statystyka opisowa pomiarów odcinków analizowanych dystansów.

Dystans	Odcinek	*Min*	*Max*	*M*	*Q1*	*Q2*	*Q3*	*SD*	*SKE*	*K*	*WZ*
100m	50m	21,94	25,67	23,19	22,86	23,14	23,47	0,50	1,15	3,95	2,17
	100m	23,46	26,56	25,28	24,97	25,29	25,62	0,47	-0,27	0,51	1,87
200m	50m	23,39	26,46	24,98	24,62	24,90	25,31	0,53	0,32	0,07	2,13
	100m	25,83	28,43	26,94	26,59	26,93	27,27	0,46	0,27	-0,14	1,72
	150m	26,18	28,89	27,42	27,10	27,42	27,75	0,49	0,07	-0,04	1,79
	200m	25,70	29,45	27,35	26,91	27,32	27,71	0,61	0,20	0,26	2,22
400m	50m	24,91	27,75	26,42	26,05	26,37	26,79	0,53	0,19	-0,36	2,01
	100m	27,39	29,79	28,51	28,18	28,46	28,81	0,45	0,26	-0,25	1,56
	150m	27,75	30,36	28,80	28,49	28,75	29,10	0,44	0,26	-0,03	1,52
	200m	27,79	30,34	28,97	28,70	28,95	29,26	0,41	0,30	0,20	1,41
	250m	27,76	30,52	28,84	28,52	28,81	29,13	0,46	0,51	0,71	1,61
	300m	27,76	30,85	28,93	28,57	28,90	29,21	0,50	0,53	0,58	1,73
	350m	27,10	31,03	28,67	28,24	28,60	29,04	0,66	0,50	0,59	2,29
	400m	25,77	30,12	27,81	27,30	27,79	28,31	0,76	0,16	-0,05	2,75
800m	50m	25,68	28,77	27,29	26,96	27,27	27,60	0,51	0,06	0,45	1,85
	100m	27,85	30,48	29,24	28,92	29,22	29,58	0,51	0,03	-0,13	1,73
	150m	28,33	30,66	29,44	29,09	29,35	29,73	0,48	0,39	-0,42	1,63
	200m	28,51	30,90	29,55	29,21	29,51	29,87	0,47	0,39	-0,15	1,61
	250m	28,61	30,93	29,55	29,25	29,49	29,85	0,44	0,32	-0,21	1,48
	300m	28,71	31,05	29,64	29,34	29,60	29,94	0,43	0,35	-0,24	1,46
	350m	28,60	31,45	29,66	29,35	29,60	29,94	0,45	0,53	0,59	1,52
	400m	28,21	31,24	29,70	29,37	29,68	29,97	0,45	0,25	0,40	1,51
	450m	28,23	30,93	29,60	29,29	29,56	29,88	0,46	0,31	0,30	1,54
	500m	28,26	30,98	29,68	29,32	29,67	29,97	0,49	0,24	0,13	1,65
	550m	28,29	31,29	29,68	29,33	29,67	30,00	0,50	0,35	0,18	1,69
	600m	28,24	31,21	29,72	29,38	29,67	30,03	0,54	0,34	0,02	1,81
	650m	28,42	31,29	29,62	29,19	29,54	29,99	0,56	0,47	-0,26	1,91
	700m	28,03	31,38	29,64	29,15	29,54	30,10	0,64	0,45	-0,27	2,17
	750m	27,51	31,22	29,28	28,81	29,20	29,81	0,75	0,22	-0,23	2,57
	800m	25,93	31,65	28,27	27,69	28,25	28,81	0,90	0,24	0,86	3,18
1500m	50m	26,22	29,49	27,68	27,30	27,67	28,07	0,53	0,11	0,01	1,93
	100m	28,43	32,16	29,72	29,36	29,68	30,11	0,55	0,55	1,39	1,85
	150m	28,83	32,56	29,93	29,49	29,87	30,31	0,57	0,64	1,33	1,89
	200m	28,84	32,71	29,99	29,58	29,94	30,32	0,55	0,90	2,61	1,85
	250m	28,93	32,81	30,01	29,60	29,93	30,33	0,55	1,02	2,75	1,83
	300m	28,78	33,06	30,05	29,69	29,99	30,34	0,55	1,22	4,38	1,83
	350m	29,03	32,81	30,04	29,66	29,94	30,38	0,53	1,22	3,23	1,75
	400m	28,95	32,83	30,08	29,72	30,00	30,40	0,54	1,22	3,49	1,81
	450m	29,18	33,01	30,07	29,71	29,97	30,39	0,54	1,26	3,54	1,79
	500m	28,89	33,16	30,11	29,77	30,05	30,44	0,55	1,32	4,39	1,81
	550m	29,11	33,32	30,06	29,66	29,97	30,37	0,54	1,42	4,74	1,79
	600m	29,11	33,21	30,11	29,72	30,00	30,39	0,55	1,39	4,15	1,84
	650m	28,97	33,38	30,11	29,69	30,04	30,43	0,59	1,39	4,09	1,95
	700m	28,98	33,27	30,15	29,76	30,08	30,45	0,58	1,29	3,76	1,91
	750m	28,78	33,40	30,13	29,70	30,03	30,51	0,62	1,21	3,18	2,06
	800m	29,06	33,19	30,18	29,77	30,10	30,52	0,61	1,33	3,27	2,01
	850m	28,98	33,44	30,16	29,72	30,09	30,51	0,62	1,11	2,64	2,06
	900m	29,11	33,23	30,21	29,74	30,15	30,54	0,61	1,17	2,87	2,01
	950m	28,92	33,34	30,22	29,79	30,13	30,55	0,62	1,18	2,92	2,06
	1000m	29,22	33,24	30,26	29,84	30,19	30,62	0,63	1,14	2,55	2,07
	1050m	28,99	33,28	30,21	29,75	30,11	30,59	0,66	1,04	1,97	2,19
	1100m	29,01	33,24	30,29	29,83	30,24	30,65	0,67	1,04	2,10	2,23
	1150m	28,99	33,44	30,28	29,78	30,18	30,75	0,69	0,97	1,89	2,29
	1200m	29,02	33,76	30,34	29,86	30,24	30,73	0,70	1,07	2,48	2,31
	1250m	28,90	33,59	30,32	29,80	30,20	30,82	0,75	0,89	1,36	2,46
	1300m	28,94	33,75	30,36	29,82	30,27	30,79	0,75	0,99	2,06	2,46
	1350m	28,85	33,41	30,27	29,65	30,17	30,85	0,79	0,74	0,87	2,60
	1400m	27,49	33,25	30,27	29,65	30,22	30,80	0,80	0,49	0,94	2,64
	1450m	26,44	33,04	29,86	29,22	29,83	30,44	0,91	0,17	0,70	3,04
	1500m	25,68	31,93	28,65	27,93	28,63	29,30	1,08	0,09	0,28	3,76

Min – minimum, *Max* – maksimum, *M* – średnia, *Q* – kwartyl, *SD* – odchylenie standardowe, *SKE* – skośność, *K* – kurtoza, *WZ* – współczynnik zmienności

Załącznik 2. Testowanie założeń normalności rozkładu o sferyczności danych odcinków analizowanych dystansów.

Dystans	*N*	Odcinek		*K-S*	*df*	*p*	*W*	*df*	*p*
100m	312	50m	1	**0,06**	**312**	**0,006**	—	—	—
		100m	2	0,03	312	0,200			
200m	312	50m	1	**0,07**	**312**	**<0,001**	**0,42**	**5**	**<0,001**
		100m	2	**0,05**	**312**	**0,050**			
		150m	3	0,03	312	0,200			
		200m	4	0,04	312	0,200			
400m	303	50m	1	**0,06**	**303**	**0,007**	**0,02**	**27**	**<0,001**
		100m	2	**0,05**	**303**	**0,037**			
		150m	3	**0,05**	**303**	**0,031**			
		200m	4	0,05	303	0,200			
		250m	5	**0,05**	**303**	**0,048**			
		300m	6	**0,05**	**303**	**0,033**			
		350m	7	**0,07**	**303**	**0,002**			
		400m	8	0,04	303	0,200			
800m	200	50m	1	0,04	200	0,200	**0,00**	**119**	**<0,001**
		100m	2	0,04	200	0,200			
		150m	3	**0,09**	**200**	**0,001**			
		200m	4	0,05	200	0,200			
		250m	5	**0,07**	**200**	**0,009**			
		300m	6	**0,07**	**200**	**0,030**			
		350m	7	**0,06**	**200**	**0,050**			
		400m	8	0,05	200	0,200			
		450m	9	0,06	200	0,200			
		500m	10	0,04	200	0,200			
		550m	11	0,05	200	0,200			
		600m	12	0,06	200	0,059			
		650m	13	**0,08**	**200**	**0,003**			
		700m	14	**0,08**	**200**	**0,008**			
		750m	15	0,06	200	0,200			
		800m	16	0,04	200	0,200			
1500m	303	50m	1	0,03	303	0,200	**0,00**	**434**	**<0,001**
		100m	2	0,04	303	0,200			
		150m	3	**0,06**	**303**	**0,008**			
		200m	4	0,04	303	0,200			
		250m	5	**0,06**	**303**	**0,004**			
		300m	6	**0,06**	**303**	**0,006**			
		350m	7	**0,09**	**303**	**<0,001**			
		400m	8	**0,09**	**303**	**<0,001**			
		450m	9	**0,09**	**303**	**<0,001**			
		500m	10	**0,07**	**303**	**<0,001**			
		550m	11	**0,08**	**303**	**<0,001**			
		600m	12	**0,08**	**303**	**<0,001**			
		650m	13	**0,08**	**303**	**<0,001**			
		700m	14	**0,08**	**303**	**<0,001**			
		750m	15	**0,09**	**303**	**<0,001**			
		800m	16	**0,09**	**303**	**<0,001**			
		850m	17	**0,08**	**303**	**<0,001**			
		900m	18	**0,08**	**303**	**<0,001**			
		950m	19	**0,07**	**303**	**0,001**			
		1000m	20	**0,08**	**303**	**<0,001**			
		1050m	21	**0,07**	**303**	**0,001**			
		1100m	22	**0,07**	**303**	**<0,001**			
		1150m	23	**0,06**	**303**	**0,008**			
		1200m	24	**0,06**	**303**	**0,004**			
		1250m	25	**0,08**	**303**	**<0,001**			
		1300m	26	**0,06**	**303**	**0,013**			
		1350m	27	**0,06**	**303**	**0,008**			
		1400m	28	0,05	303	0,200			
		1450m	29	0,03	303	0,200			
		1500m	30	0,04	303	0,200			

N – liczba obserwacji, *K-S* – wartość testu Kołmogorow-Smirnow, *df* – stopnie swobody, *p* – istotność, *W* – wartość testu Mauchly'ego

Załącznik 3. Testowanie założeń normalności rozkładu danych odcinków analizowanych dystansów.

Dystans	Analizowany pomiar	*K-S*	*df*	*p*
100m	Stosunek pierwszego odcinka do ostatniego	**0,08**	**312**	**<0,001**
	Zmienność dystansu	0,04	312	0,200
	Czas dystansu [s]	0,04	312	0,200
200m	Stosunek pierwszego odcinka do ostatniego	0,04	312	0,200
	Stosunek pierwszego odcinka do śródodcinków	0,03	312	0,200
	Stosunek ostatniego odcinka do śródodcinków	0,03	312	0,200
	Zmienność śródodcinków	**0,07**	**312**	**0,001**
	Zmienność dystansu	0,04	312	0,200
	Czas dystansu [s]	0,05	312	0,200
400m	Stosunek pierwszego odcinka do ostatniego	0,03	303	0,200
	Stosunek pierwszego odcinka do śródodcinków	0,03	303	0,200
	Stosunek drugiego odcinka do śródodcinków	0,04	303	0,200
	Stosunek przedostatniego odcinka do śródodcinków	0,04	303	0,200
	Stosunek ostatniego odcinka do śródodcinków	0,03	303	0,200
	Zmienność śródodcinków	**0,11**	**303**	**<0,001**
	Zmienność dystansu	0,03	303	0,200
	Czas dystansu [s]	**0,05**	**303**	**0,041**
800m	Stosunek pierwszego odcinka do ostatniego	0,04	200	0,200
	Stosunek pierwszego odcinka do śródodcinków	0,03	200	0,200
	Stosunek drugiego odcinka do śródodcinków	0,04	200	0,200
	Stosunek przedostatniego odcinka do śródodcinków	0,06	200	0,200
	Stosunek ostatniego odcinka do śródodcinków	0,04	200	0,200
	Zmienność śródodcinków	**0,10**	**200**	**<0,001**
	Zmienność dystansu	0,04	200	0,200
	Czas dystansu [s]	0,05	200	0,200
1500m	Stosunek pierwszego odcinka do ostatniego	0,03	303	0,200
	Stosunek pierwszego odcinka do śródodcinków	**0,05**	**303**	**0,041**
	Stosunek drugiego odcinka do śródodcinków	0,04	303	0,200
	Stosunek przedostatniego odcinka do śródodcinków	**0,06**	**303**	**0,018**
	Stosunek ostatniego odcinka do śródodcinków	**0,05**	**303**	**0,041**
	Zmienność śródodcinków	**0,14**	**303**	**<0,001**
	Zmienność dystansu	**0,07**	**303**	**0,003**
	Czas dystansu [s]	**0,06**	**303**	**0,024**

K-S – wartość testu Kołmogorow-Smirnow, *df* – stopnie swobody, *p* – istotność

Spis tabel

Tabela 1. Charakterystyka finałów na dystansie 100 m z uwzględnieniem rangi zawodów, zwycięzców oraz struktury finalistów. 41
Tabela 2. Charakterystyka finałów na dystansie 200 m z uwzględnieniem rangi zawodów, zwycięzców oraz struktury finalistów. 42
Tabela 3. Charakterystyka finałów na dystansie 400 m z uwzględnieniem rangi zawodów, zwycięzców oraz struktury finalistów. 43
Tabela 4. Charakterystyka finałów na dystansie 800 m z uwzględnieniem rangi zawodów, zwycięzców oraz struktury finalistów. 44
Tabela 5. Charakterystyka finałów na dystansie 1500 m z uwzględnieniem rangi zawodów, zwycięzców oraz struktury finalistów. 45
Tabela 6. Zawodnicy o największej liczbie obserwacji w materiale badawczym z podziałem na dystanse pływackie. 46
Tabela 7. Kraje/reprezentacje o największej liczbie obserwacji w materiale badawczym z podziałem na dystanse. 47
Tabela 8. Liderzy liczby obserwacji w materiale badawczym w poszczególnych dystansach. 48
Tabela 9. Liderzy liczby obserwacji według kraju/reprezentacji w poszczególnych dystansach. 48
Tabela 10. Liczba analizowanych międzyczasów 50-metrowych w materiale badawczym. .. 50
Tabela 11. Profil dystansowy zawodników o największej liczbie obserwacji w materiale badawczym. 51
Tabela 12. Struktura materiału badawczego według typu dystansu oraz liczby analizowanych odcinków 50-metrowych. 52
Tabela 13. Stopień koncentracji obserwacji w analizowanej grupie zawodników. 53
Tabela 14. Stopień koncentracji obserwacji według kraju/reprezentacji. 53
Tabela 15. Analiza porównań parami odcinków dystansu 100 metrów. 57
Tabela 16. Analiza porównań parami odcinków dystansu 200 metrów. 58
Tabela 17. Analiza porównań parami odcinków dystansu 400 metrów. 60
Tabela 18. Analiza porównań parami odcinków dystansu 800 metrów. 62
Tabela 19. Analiza porównań parami odcinków dystansu 1500 metrów. 65

Tabela 20. Model oceny zależności liniowej odcinków dystansu 100 metrów z uzyskiwanym czasem odcinka. 69
Tabela 21. Model oceny zależności liniowej i nieliniowej odcinków dystansu 200 metrów z uzyskiwanym czasem odcinka. 70
Tabela 22. Model oceny zależności liniowej i nieliniowej odcinków dystansu 400 metrów z uzyskiwanym czasem odcinka. 72
Tabela 23. Model oceny zależności liniowej i nieliniowej odcinków dystansu 800 metrów z uzyskiwanym czasem odcinka. 73
Tabela 24. Model oceny zależności liniowej i nieliniowej odcinków dystansu 1500 metrów z uzyskiwanym czasem odcinka. 76
Tabela 25. Wyniki analizy korelacji dla rozkładu tempa oraz czasu na dystansach. 81

Spis wykresów

Wykres 1. Schematyczne przedstawienie podstawowych strategii tempa w sporcie. Wartości przedstawiono jako względną prędkość w funkcji procentu dystansu. 22
Wykres 2. Średnie wyniki i rozrzut wewnętrzny odcinków dystansu 100 metrów. 58
Wykres 3. Średnie wyniki i rozrzut wewnętrzny odcinków dystansu 200 metrów. 59
Wykres 4. Średnie wyniki i rozrzut wewnętrzny odcinków dystansu 400 metrów. 60
Wykres 5. Średnie wyniki i rozrzut wewnętrzny odcinków dystansu 400 metrów. 63
Wykres 6. Średnie wyniki i rozrzut wewnętrzny odcinków dystansu 15000 metrów. 67
Wykres 7. Dopasowanie liniowe i nieliniowe odcinków dystansu 200 metrów z uzyskiwanym czasem odcinka. 71
Wykres 8. Dopasowanie liniowe i nieliniowe odcinków dystansu 400 metrów z uzyskiwanym czasem odcinka. 73
Wykres 9. Dopasowanie liniowe i nieliniowe odcinków dystansu 800 metrów z uzyskiwanym czasem odcinka. 75
Wykres 10. Dopasowanie liniowe i nieliniowe odcinków dystansu 1500 metrów z uzyskiwanym czasem odcinka. 77

Spis załączników

Załącznik 1. Statystyka opisowa pomiarów odcinków analizowanych dystansów. 115
Załącznik 2. Testowanie założeń normalności rozkładu o sferyczności danych odcinków analizowanych dystansów. 116
Załącznik 3. Testowanie założeń normalności rozkładu danych odcinków analizowanych dystansów. 117

OŚWIADCZENIE DOTYCZĄCE WYKORZYSTANIA NARZĘDZI SZTUCZNEJ INTELIGENCJI W ROZPRAWIE DOKTORSKIEJ[1]

Ja, niżej podpisany/a MACIEJ HOŁUB oświadczam, że
Imię i nazwisko autora rozprawy

podczas przygotowania rozprawy doktorskiej mojego autorstwa pod tytułem: ……

STRATEGIE ROZKŁADU TEMPA W PŁYWANIU STYLEM DOWOLNYM MĘŻCZYZN
tytuł rozprawy
– UJĘCIE MODELOWE NA POZIOMIE ELITY ŚWIATOWEJ

☒ **Nie korzystałem/am z narzędzi sztucznej inteligencji**.

☐ **Korzystałem/am z narzędzi sztucznej inteligencji** podczas przygotowywania rozprawy doktorskiej, zgodnie z poniższym zakresem:

- ☐ Analiza danych
- ☐ Generowanie treści tekstowych
- ☐ Redakcja tekstu
- ☐ Kodowanie lub analiza kodu
- ☐ Inne (opisać): ……

……

……

Jednocześnie oświadczam, że informacje o celach, zakresie i sposobie wykorzystania sztucznej inteligencji są opisane i czytelnie oznaczone w rozprawie doktorskiej zgodnie z §4 ust. 4 regulaminu prowadzenia postępowań w sprawie nadania stopnia doktora i doktora habilitowanego AWF Katowice. Oświadczam również, że pomimo zastosowania SI w rozprawie doktorskiej, to nadal zapewniona jest realizacja wymagań określonych w art. 187 ust. 1 i 2 Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r, gdzie określono następujące wymagania stawiane rozprawą doktorskim:

- Rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej.
- Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej albo oryginalne dokonanie artystyczne.

Data i Podpis Doktoranta: 19.03.2026 Maciej Hołub

[1]Oświadczenie należy umieścić na samym końcu rozprawy doktorskiej po bibliografii lub ewentualnych aneksach