



AKADEMIA
WYCHOWANIA FIZYCZNEGO
IM. POLSKICH OLIMPIJCZYKÓW
WE WROCLAWIU

**Akademia Wychowania Fizycznego im. Polskich
Olimpijczyków we Wrocławiu**

mgr Michał Zacharko

**Wpływ wybranych czynników sytuacyjnych na wynik gry,
zdolności wysiłkowe oraz działania w grze zawodników
grających w piłkę nożną**

Rozprawa doktorska wykonana w Zakładzie Motoryczności Człowieka
na Wydziale Wychowania Fizycznego i Sportu

Promotor:

dr hab. Marek Konefał, prof. AWF

Wrocław 2023

Spis treści:

I. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 187, pkt 3 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018 poz. 1668).....	5
1) Tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego.....	5
2) Autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa	5
3) Inne publikacje autora rozprawy doktorskiej	6
4) Streszczenie w języku polskim	7
5) Streszczenie w języku angielskim	9
II. Wstęp	11
1) Kierunek przemieszczania się przez strefy czasowe jako czynnik sytuacyjny	12
2) Zanieczyszczenie powietrza jako czynnik sytuacyjny	13
III. Cel pracy	15
1) Cel główny.....	15
2) Cele szczegółowe.....	15
IV. Materiał i metody badawcze	16
V. Wyniki badań	20
VI. Dyskusja	25
VII. Wnioski i zastosowanie praktyczne.....	31
VIII. Piśmiennictwo	32
IX. Załączniki.....	38

I. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 187, pkt 3 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018 poz. 1668).

Osiągnięcie naukowe stanowi cykl publikacji składający się z trzech oryginalnych artykułów o łącznej punktacji 350 punktów MEiN (wg wykazu z 2022 roku) oraz sumarycznym wskaźniku Impact Factor (IF) wynoszącym 12.889.

1) Tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego:

Wpływ wybranych czynników sytuacyjnych na wynik gry, zdolności wysiłkowe oraz działania w grze zawodników grających w piłkę nożną

2) Autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa:

Zacharko M., Konefał M., Radzimiński Ł., Chmura P., Błażejczyk K., Chmura J., & Andrzejewski M. (2022). Direction of travel of time zones crossed and results achieved by soccer players. The road from the 2018 FIFA World Cup to UEFA EURO 2020. *Research in Sports Medicine*, 30(2):145-155. <https://doi:10.1080/15438627.2020.1853545>

Impact Factor: 3.661

Punkty MEiN: 70

Zacharko, M., Cichowicz, R., Andrzejewski, M., Chmura, P., Kowalczyk, E., Chmura, J., & Konefał, M. (2021). Air Pollutants Reduce the Physical Activity of Professional Soccer Players. *International journal of environmental research and public health*, 18(24), 12928. <https://doi.org/10.3390/ijerph182412928>

Impact Factor: 4.614

Punkty MEiN: 140

Zacharko, M., Cichowicz, R., Depta, A., Chmura, P., & Konefał, M. (2023). High Levels of PM10 Reduce the Physical Activity of Professional Soccer Players. *International journal of environmental research and public health*, 20(1), 692. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010692>

Impact Factor: 4.614

Punkty MEiN: 140

Inne publikacje autora rozprawy doktorskiej:

Konefał M., Chmura J., Zacharko M., Zając T. & Chmura P. (2022). The Relationship among Acceleration, Deceleration and Changes of Direction in Repeated Small Sided Games. *Journal of Human Kinetics*, 85(1), 96-103. <https://doi.org/10.2478/hukin-2022-0113>

Impact Factor: 2.923

Punkty MEiN: 140

Konefał, M., Chmura, P., Zacharko, M., Baranowski J., Andrzejewski M., Błażejczyk K., Chmura J. (2021). The influence of thermal stress on the physical and technical activities of soccer players: lessons from the 2018 FIFA World Cup in Russia. *International Journal of Biometeorology*, 65, 1291–1298. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01964-3>

Impact Factor: 3.738

Punkty MEiN: 100

Konefał M., Andrzejewski M., Chmura P., Zacharko M., Radzimiński Ł. (2021). Physical Activity of the Right- and Left-Footed Professional Soccer Players from Symmetrical Defensive Positions. *Symmetry*, 13(9):1551. <https://doi.org/10.3390/sym13091551>

Impact Factor: 2.940

Punkty MEiN: 70

Konefał, M., Chmura, P., Zacharko, M., Chmura, J., Rokita, A., & Andrzejewski, M. (2018). Match outcome vs match status and frequency of selected technical activities of soccer players during UEFA Euro 2016. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 18, 568 – 581. <https://doi.org/10.1080/24748668.2018.1501991>

Impact Factor: 1.325

Punkty MEiN: 15

3) Streszczenie w języku polskim

WSTĘP: Współczesne harmonogramy profesjonalnych rozgrywek piłki nożnej wymagają od zawodników wysokiego poziomu zdolności wysiłkowych, pozwalających utrzymać efektywność podejmowanej aktywności fizycznej w wielu meczach podczas całego sezonu (Carling i wsp., 2018). W literaturze naukowej najczęściej opisywanymi aktywnościami fizycznymi są dystans całkowity (TD) oraz intensywne wysiłki, np. sprinty oraz dystanse pokonywane z wysokimi prędkościami (Aquino i wsp. 2021; Konefał i wsp. 2021). Czynniki sytuacyjne zostały zidentyfikowane jako zmienne kontekstowe, mające wpływ na wyniki w grach zespołowych (McGarry, O'Donoghue, i Sampaio 2013). Wielu autorów podkreśla znaczenie czynników sytuacyjnych, które istotnie wpływają na zdolności wysiłkowe, działania w grze profesjonalnych zawodników oraz wyniki osiągnięte w grze w piłkę nożną (Aquino i wsp. 2021; Brito, Hertzog, i Nassis 2016; Lago-Peñas 2012). Jednak istnieją również czynniki, których wpływ na aktywność sportowców jest znany, ale nie została dostatecznie stwierdzona ich ważność dla gry w piłkę nożną. Przykładami takich czynników są kierunek przemieszczania się przez strefy czasowe oraz zanieczyszczenie powietrza.

CEL PRACY: Celem rozprawy doktorskiej stanowiącej spójny tematycznie zbiór trzech oryginalnych artykułów jest ocena wpływu wybranych czynników sytuacyjnych na wynik gry, zdolności wysiłkowe i działania w grze profesjonalnych zawodników grających w piłkę nożną.

MATERIAŁ i METODY BADAWCZE: Materiał badawczy stanowiły obserwacje profesjonalnych piłkarzy nożnych występujących w Mistrzostwach Świata 2018 w Rosji, niemieckiej Bundeslidze w sezonach 2017/2018 i 2018/2019 oraz polskiej Ekstraklasie w sezonie 2019/2020. Dane dotyczące aktywności fizycznej oraz działań w grze pozyskano z systemów kinematycznej analizy ruchu. W **artykule nr 1** zastosowano kryteria uwzględniające kierunek przemieszczania się piłkarzy nożnych pomiędzy strefami czasowymi, w których znajdowały się ośrodki treningowe a strefami czasowymi, gdzie odbywały się mecze: Zachód→Wschód (WE), Ta sama strefa (SZ) oraz Wschód→Zachód (EW). W **artykule nr 2** na podstawie trzech parametrów (PM10, O₃, NO₂) opracowano zintegrowany model trzech rodzajów zanieczyszczeń powietrza i utworzono 4 kategorie jakości powietrza: bardzo dobra, dobra, umiarkowana, słaba. W **artykule nr 3** szczegółowo przeanalizowano PM10 w kontekście trzech regionów o zróżnicowanym poziomie zanieczyszczenia powietrza w Polsce (Północny, Centralny, Południowy).

WYNIKI i WNIOSKI: W wyniku przeprowadzonych analiz stwierdzono, że uwzględnione w niniejszych badaniach czynniki sytuacyjne istotnie różnicują wynik gry, zdolności

wysiłkowe oraz działania w grze piłkarzy nożnych. W **artykule nr 1** wykazano istotny związek kierunku przemieszczania się przez strefy czasowe pomiędzy ośrodkami treningowymi a miejscami rozgrywania meczów podczas Mistrzostw Świata 2018 w Rosji. Sytuacja, w której zawodnicy pozostają w tej samej strefie czasowej lub przemieszczają się ze wschodu na zachód jest najbardziej korzystna dla uzyskania wyższego miejsca w końcowej klasyfikacji turnieju, dla poziomu aktywności fizycznej oraz działań w grze zawodników. W **artykule nr 2** udowodniono, że podwyższone stężenie w powietrzu zaledwie jednego parametru zanieczyszczenia powietrza, skutkuje obniżeniem aktywności fizycznej profesjonalnych piłkarzy nożnych. W **artykule nr 3** wykazano, że nawet krótkotrwały pobyt w bardziej zanieczyszczonych regionach Polski obniża poziom aktywności fizycznej piłkarzy nożnych.

4) Streszczenie w języku angielskim

INTRODUCTION: Modern schedules of professional football games require players to have a high level of exercise capacity, allowing them to maintain the effectiveness of their physical activity in many matches throughout the season (Carling et al., 2018). In the scientific literature, the most frequently described physical activities are total distance (TD) and high-intensity efforts, e.g. sprints and distances covered at high speeds (Aquino et al., 2021; Konefał et al., 2021). Situational factors have been identified as contextual variables which affect the result of team games (McGarry, O'Donoghue, and Sampaio 2013). Many authors emphasize the importance of situational factors that significantly affect the exercise capacity, the in-game activities of professional players and the results achieved in soccer (Aquino et al., 2021; Brito, Hertzog, and Nassis 2016; Lago-Peñas 2012). However, there are also factors whose influence on the activity of athletes is known, but their importance for soccer has not been sufficiently established. Examples of such factors are the direction of travel across time zones and air pollution.

OBJECTIVE OF THE WORK: The aim of the doctoral dissertation, which is a thematically coherent collection of three original articles, is to assess the impact of selected situational factors on the results of the game, exercise capacity and in-game activities of professional soccer players.

MATERIAL AND METHODS: The study material consisted of observations of professional soccer players participating in the World Cup 2018 in Russia, the German Bundesliga in the 2017/2018 and 2018/2019 seasons and the Polish Ekstraklasa in the 2019/2020 season. Data on physical activity and in-game activities were obtained from kinematic motion analysis systems. In **article No. 1**, criteria were used that take into account the direction of travel of soccer players between the time zones in which the training centres were located and the time zones where the matches were played: West→East (WE), Same zone (SZ) and East→West (EW)). In **article No. 2**, on the basis of three air pollutants parameters (PM10, O₃, NO₂), a model of integrating three types of air pollutants was developed. Based on this model, 4 air quality categories were created: very good, good, moderate, poor. In **article No. 3** the parameter PM10 was analysed in detail in the context of three regions with different levels of air pollution in Poland (Northern, Central, Southern).

RESULTS AND CONCLUSIONS: As a result of the conducted analyses, it was found that the situational factors included in this study significantly differentiate results of the game, exercise capacity and in-game activities of professional soccer players. **Article No. 1** shows

a significant correlation between the direction of travel across time zones between training centres and the place where matches were played during the World Cup 2018 in Russia. A situation where players stay in the same time zone or move from east to west is the most beneficial for achieving a higher place in the final tournament standings, for the exercise capacity and the in-game activities of soccer players. In **article No. 2**, it was proved that the increased concentration of just one air pollution parameter in the air is enough to result in a significant reduction in the physical activity of professional soccer players. **Article No. 3** showed that even a short stay in more polluted regions of Poland reduces the level of physical activity of football players.

II. Wstęp

Współczesne harmonogramy profesjonalnych rozgrywek piłki nożnej wymagają od zawodników wysokiego poziomu zdolności wysiłkowych, pozwalających utrzymać efektywność podejmowanej aktywności fizycznej w wielu meczach podczas całego sezonu (Carling i wsp. 2018). W literaturze naukowej najczęściej opisywanymi aktywnościami fizycznymi są dystans całkowity (TD) oraz intensywne wysiłki, np. sprinty oraz dystanse pokonywane z wysokimi prędkościami (Aquino i wsp. 2021; Konefał i wsp. 2021). Pomimo, że wysiłki o wysokiej intensywności stanowią zaledwie 10-15% całkowitego dystansu pokonywanego przez zawodników podczas meczu (Konefał i wsp. 2019; Russell i wsp. 2016), to wielu autorów uważa je za jedno z najważniejszych mierników zdolności wysiłkowych w grze w piłkę nożną (Andrzejewski i wsp. 2018; Chmura i wsp. 2018; Modric i wsp. 2019). Ponadto wysoki poziom aktywności fizycznej podczas meczu koreluje z końcowym wynikiem gry (Konefał i wsp. 2019). Z kolei autorzy opisujący działania w grze odnoszą się najczęściej do liczby uderzeń do bramki, a także do liczby wykonanych i skutecznych podań (Liu i wsp. 2015; Rumpf i wsp. 2017). Wcześniejsze badania Mistrzostw Świata w Piłce Nożnej w latach 2002, 2006, 2010 i 2014 wykazały, że drużyny wygrywające mecz wykonywały większą liczbę uderzeń do bramki i podań, a także osiągały większą procentową skuteczność powyższych działań w grze (Liu i wsp. 2015).

Wielu autorów podkreśla znaczenie czynników sytuacyjnych, które istotnie wpływają na zdolności wysiłkowe, działania w grze profesjonalnych zawodników oraz wyniki osiągnięte w grze w piłkę nożną (Aquino i wsp. 2021; Brito, Hertzog, i Nassis 2016; Lago-Peñas 2012). Czynniki sytuacyjne zostały zidentyfikowane jako zmienne kontekstowe, mające wpływ na wyniki w grach zespołowych (McGarry, O'Donoghue, i Sampaio 2013). Jednak najczęściej w literaturze naukowej opisywane są następujące czynniki: lokalizacja meczu (Paraskevas, Smilios, i Hadjicharalambous 2020), jakość przeciwnika (Gonçalves i wsp. 2019), końcowy i aktualny wynik meczu (Konefał i wsp. 2018), a także warunki klimatyczne (Chapelle i wsp. 2020). Istnieją również czynniki, których wpływ na aktywność sportowców jest znany, ale nie została dostatecznie stwierdzona ich ważność dla gry w piłkę nożną. Przykładami takich czynników są kierunek przemieszczania się przez strefy czasowe oraz zanieczyszczenie powietrza. Do tej pory w literaturze naukowej istnieje zaledwie kilka prac uwzględniających powyższe zmienne kontekstowe w odniesieniu do gry w piłkę nożną (Goumas 2014; Lichter, Pestel, i Sommer 2017; Zacharko i wsp. 2022; Zacharko i wsp. 2021; Zacharko i wsp. 2022). Jednocześnie wydaje się, że zagadnienie to jest bardzo istotne z punktu widzenia wyniku sportowego, jak również dbałości o zdrowie sportowców.

1) Kierunek przemieszczania się przez strefy czasowe jako czynnik sytuacyjny

Jednym z czynników sporadycznie opisywanym w kontekście gry w piłkę nożną jest kierunek przemieszczania się przez strefy czasowe, który szczególnie uwidocznił się podczas Mistrzostw Świata w Piłce Nożnej w 2018 roku. Turniej został przeprowadzony w Rosji w czterech różnych strefach czasowych. Aby dotrzeć do miejsca rozgrywania meczu sportowcy często podróżowali przez kilka stref czasowych. Jak wskazują dotychczasowe badania naukowe długi czas podróży powoduje zmęczenie i w następstwie złe samopoczucie (Brown i wsp. 2001), co w pewnym stopniu wynika z desynchronizacji rytmów okołodobowych, określanych inaczej jako „jet lag” (Reinberg i Smolensky 1992). Syndrom ten zwykle występuje tam, gdzie przekraczane są co najmniej trzy strefy czasowe (Kölling i wsp. 2017). Po przekroczeniu stref czasowych organizm człowieka powoli, ale konsekwentnie dostosowuje się do nowego rytmu dobowego. Na każdą godzinę zmiany strefy czasowej potrzebny jest w przybliżeniu jeden (dodatkowy) dzień adaptacyjny (Brown i wsp. 2001). Natomiast warto zauważyć, że zmiana strefy czasowej zaburza rytm okołodobowy objawiający się zmianami w wydzielaniu melatoniny (Wieczorek, Blazejczyk, i Morita 2016). Konsekwencjami tego mogą być: gorsza jakość snu, zmęczenie w ciągu dnia oraz obniżona zdolność wysiłkowa (Takahashi, Nakata, i Arito 2002). Jednak skutki zmian stref czasowych są zindywidualizowane i zależne od liczby przekraczanych stref czasowych, czasu trwania lotu, jak również kierunku podróży (Kölling i wsp. 2017).

W literaturze naukowej powyższą problematykę można znaleźć w odniesieniu do kilku sportów drużynowych, takich jak: futbol amerykański (Jehue, Street, i Huizenga 1993), baseball (Recht, Lew, i Schwartz 1995) oraz futbol australijski (Richmond i wsp. 2004). Natomiast zgodnie z moją najlepszą wiedzą, w badaniach naukowych zaledwie raz uwzględniono problem przekraczania stref czasowych w odniesieniu do gry w piłkę nożną. Goumas (2014) stwierdził, że „gospodarze” zdobywali 74% możliwych do uzyskania punktów, gdy drużyna „gości” musiała przekroczyć 4 strefy czasowe, aby dotrzeć na miejsce rozgrywania meczu. Problem ten aktualnie nabrał większego znaczenia, ponieważ regulaminy FIFA i UEFA coraz częściej pozwalają na odbywanie się turniejów rangi Mistrzostw Świata i Mistrzostw Europy w wielu krajach o różnych strefach czasowych. Na przykład podczas EURO 2020 różnica czasowa pomiędzy dwoma miastami, w których rozgrywane były mecze grupy C (Rzym GMT+1 i Baku GMT+4) wynosiła 3 godziny. Jak widać zawodnicy musieli pokonywać kilka stref czasowych między miejscami rozgrywania meczów, ale również między ośrodkami treningowymi, w których przebywali. Wobec powyższego w **artykule nr 1**

należącym do cyklu publikacji wykazanych jako osiągnięcie naukowe zdecydowałem się zbadać kierunek przemieszczania się przez strefy czasowe w odniesieniu do wyniku gry, aktywności fizycznej i działań w grze piłkarzy nożnych grających na Mistrzostwach Świata w 2018 roku. Badania stanowiły praktyczną informację dla sztabów trenerskich przygotowujących się do EURO 2020, które odbywały się w pięciu strefach czasowych.

2) Zanieczyszczenie powietrza jako czynnik sytuacyjny

Kolejnym czynnikiem sytuacyjnym, bardzo rzadko opisywanym w kontekście gry w piłkę nożną jest zanieczyszczenie powietrza. To problem, na który w obecnych czasach zwraca się coraz większą uwagę, ponieważ stanowi zagrożenie dla zdrowia ludzkiego (Schraufnagel i wsp. 2019). W 2012 roku Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) oszacowała, że około 7 milionów przedwczesnych zgonów było związanych z mieszkaniem na obszarach o zanieczyszczonym powietrzu, a w 2015 roku liczba ta zwiększyła się do około 9 milionów (Landrigan i wsp. 2018). Wdychanie wysokich stężeń zanieczyszczeń powietrza może wyrządzić więcej szkód sportowcom podejmującym intensywne treningi niż ogółowi społeczeństwa (Fitch 2016; Reche i wsp. 2020). Wentylacja minutowa płuc (VE), która wynosi około 6-8 litrów powietrza dla osoby w spoczynku, wzrasta do 30-50 litrów na minutę podczas umiarkowanego wysiłku i przekracza 100 litrów na minutę podczas intensywnego wysiłku fizycznego (Allen 2004; Wasserman i wsp. 2011). U niektórych sportowców maksymalne VE podczas intensywnych ćwiczeń może przekraczać 200 litrów na minutę, czyli około 30 razy więcej niż w spoczynku (Allen 2004). Co więcej, wdychanie większej ilości powietrza przez usta podczas ćwiczeń powoduje obejście mechanizmów filtracji nosa. Zwiększona prędkość przepływu powietrza transportuje zanieczyszczenia w głąb dróg oddechowych i tym samym zwiększa wchłanianie zanieczyszczeń gazowych (Lü i wsp. 2015), a co za tym idzie zwiększa się również stężenie poszczególnych zanieczyszczeń w organizmie człowieka (Nieckarz i Żołądź 2020). Dlatego też sportowcy są szczególnie narażeni na negatywne oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza, ponieważ wielu z nich trenuje i rywalizuje w warunkach zewnętrznych przez większą część dnia (Reche i wsp. 2020).

Do najczęściej analizowanych zanieczyszczeń powietrza należą: ozon (O_3), ditlenek azotu (NO_2) oraz pył zawieszony (PM). Pierwszy z wymienionych, czyli O_3 jest gazem powstającym w wyniku działania światła słonecznego na węglowodory i tlenki azotu, a jego działanie jest niekorzystne dla wyników sportowych, w momencie gdy ekspozycja jest wysoka (Lippi, Guidi, i Maffulli 2008). Dyskomfort oddechowy związany ze zwiększoną ekspozycją O_3 może powodować obniżenie maksymalnej wydajności pracy i znacząco przyczynić się do

zwiększenia ogólnego odczuwanego wysiłku (Carlisle i Sharp 2001). Z kolei NO₂ jest produktem ubocznym spalania paliw kopalnych i ma tendencję do współistnienia z O₃ oraz PM, dlatego często są wdychane jednocześnie (Fitch 2016). W efekcie działają one na organizm człowieka kompleksowo i dlatego uzasadniona jest jednoczesna analiza wszystkich trzech powyższych rodzajów zanieczyszczeń. Bardzo dobrym krajem do tego typu analiz są Niemcy, ponieważ liga piłkarska zaliczana jest do jednej z najlepszych w Europie, a jednocześnie większość obszarów miejskich nadal nie spełnia standardów jakości powietrza zalecanych przez WHO (Petrowski i wsp. 2019; Zhang i Jiang 2022). W literaturze naukowej brakuje badań, które uwzględniają zintegrowane działanie trzech najczęściej opisywanych parametrów zanieczyszczeń powietrza na zdolności wysiłkowe profesjonalnych sportowców, dlatego w **artykule nr 2** z cyklu publikacji wykazanych jako osiągnięcie naukowe postanowiłem zająć się wpływem zanieczyszczenia powietrza na aktywność fizyczną profesjonalnych piłkarzy nożnych występujących w niemieckiej Bundeslidze.

Jednym z najbardziej szkodliwych parametrów zanieczyszczenia powietrza jest pył zawieszony (PM), który powstaje podczas spalania drewna i paliw kopalnych, podczas prac budowlanych oraz podczas ruchu drogowego (Cichowicz i Stelęgowski 2019). Istnieją różne kryteria podziałów pyłów, jednak najczęściej analizowane są pyły o wielkości PM₁₀ (czyli o średnicy cząstek poniżej 10 µm), PM_{2,5} (poniżej 2,5 µm) i PM₁ (poniżej 1 µm) (Fitch 2016). Przy czym im mniejsza cząsteczka, tym ma większą możliwość dostania się głębiej do układu oddechowego człowieka. Jednak już PM₁₀ ma szkodliwy wpływ na zdrowie, ponieważ jego połączenie z ditlenkiem siarki (SO₂) i parą wodną tworzy cząsteczki pokryte kwasem siarkowym, które mogą osadzać się w płucach i powodować podrażnienie oraz objawy podobne do astmy (Lippi, Guidi, i Maffulli 2008). Stężenie PM zależy od kilku czynników, takich jak lokalizacja, pora roku i pora dnia (Nieckarz i Żołądź 2020). Warto zauważyć, że wysokie stężenia PM są coraz częściej obserwowane w dużych aglomeracjach miejskich w wielu miastach na całym świecie (Gupta i wsp. 2006; Khilnani i Tiwari 2018; Tian i Sun 2017). Dlatego też m.in. w Polsce stężenie PM i innych parametrów zanieczyszczeń powietrza jest zróżnicowane w zależności od regionu (Lubiński i wsp. 2005). W **artykule nr 3** należącym do cyklu publikacji wykazanych jako osiągnięcie naukowe przeanalizowałem wpływ PM₁₀ na aktywność fizyczną profesjonalnych piłkarzy nożnych występujących w polskiej Ekstraklasie.

III. Cel pracy

1) Cel główny

Celem rozprawy doktorskiej stanowiącej spójny tematycznie zbiór trzech oryginalnych artykułów jest ocena wpływu wybranych czynników sytuacyjnych na wynik gry, zdolności wysiłkowe i działania w grze profesjonalnych zawodników grających w piłkę nożną.

2) Cele szczegółowe

- Publikacja pt.: Direction of travel of time zones crossed and results achieved by soccer players. The road from the 2018 FIFA World Cup to UEFA EURO 2020.

Celem pracy była ocena zmian aktywności fizycznej i działań w grze piłkarzy nożnych spowodowanych kierunkiem przemieszczania się przez strefy czasowe pomiędzy ośrodkami treningowymi a miejscami rozgrywania meczów podczas Mistrzostw Świata 2018 w Rosji.

- Publikacja pt.: Air Pollutants Reduce the Physical Activity of Professional Soccer Players.

Celem pracy było określenie wpływu jakości powietrza analizowanej na podstawie zintegrowanego modelu trzech rodzajów zanieczyszczeń powietrza (O₃, NO₂, PM₁₀) na aktywność fizyczną piłkarzy nożnych występujących w niemieckiej Bundeslidze.

- Publikacja pt.: High Levels of PM₁₀ Reduce the Physical Activity of Professional Soccer Players.

Celem pracy było określenie wpływu jakości powietrza analizowanej na podstawie parametru PM₁₀ w trzech regionach Polski na aktywność fizyczną piłkarzy nożnych polskiej Ekstraklasy.

IV. Materiał i metody badawcze

Materiał badawczy

Materiał badawczy stanowiły obserwacje profesjonalnych piłkarzy nożnych. W **artykule nr 1** zarejestrowano 945 obserwacji 340 zawodników reprezentujących 32 reprezentacje narodowe, biorące udział w Mistrzostwach Świata 2018 w Rosji. Pod uwagę wzięto zawodników, którzy wystąpili w fazie grupowej i pucharowej (mecze z dogrywką nie były brane pod uwagę, ze względu na wydłużony czas trwania meczu). W **artykule nr 2** zostały przeanalizowane dane 461 piłkarzy nożnych rywalizujących w niemieckiej Bundeslidze w sezonach 2017/2018 oraz 2018/2019 i dokonano 8927 indywidualnych obserwacji. W **artykule nr 3** zebrano dane 362 piłkarzy nożnych rywalizujących w polskiej Ekstraklasie w sezonie 2019/2020 i dokonano 4294 indywidualnych obserwacji. Aby zachować rzetelność badań we wszystkich publikacjach wzięto pod uwagę tylko dane dotyczące zawodników, którzy przebywali na boisku przez cały podstawowy czas gry. Dodatkowo dane meczowe bramkarzy zostały wyłączone z analiz ze względu na specyfikę pozycji.

Dane meczowe

Dane pozyskiwano z systemów kinematycznej analizy ruchu, takich jak: STATS[®], Impire AG, TRACAB (Link i Weber 2017; Linke, Link, i Lames 2020; Liu i wsp. 2015; Liu i wsp. 2013). Tego typu systemy wykorzystują zestaw kamer wideo rejestrujących aktywność fizyczną i działania w grze zawodników w czasie rzeczywistym. Systemy wykorzystują najnowocześniejsze algorytmy oraz technologię rejestracji wideo 2D i 3D, pozwalając na szczegółową analizę ruchu w meczach piłkarskich. Głównymi zaletami systemów kinematycznej analizy ruchu są ich wysoka częstotliwość aktualizacji odpowiadająca szybkości klatek kamery oraz fakt, że zawodnicy i piłka są rejestrowani jednocześnie. Każdy możliwy rodzaj kontaktu z piłką i akcji z piłką w meczu jest objęty precyzyjnym zestawem definicji zapisanych w systemie (Linke, Link, i Lames 2020; Liu i wsp. 2015). Wiarygodność systemów została szczegółowo opisana przez Link i Weber (2017) oraz Linke i wsp. (2020). Ponadto Liu i wsp. (2013) wykazali, że zdarzenia meczowe systemów kinematycznej analizy ruchu kodowane przez niezależnych operatorów osiągnęły bardzo dobre poziomy zgodności (ważone wartości kappa 0,92 i 0,94), przy średniej różnicy czasu zdarzenia równej $0,06 \pm 0,04$ [s].

W **artykule nr 1** analizę oparto na parametrach aktywności fizycznej: dystans całkowity (TD) [km], dystans pokonany z prędkością 20-25 km·h⁻¹ (HIR) [m], liczba sprintów. W analizie uwzględniono również działania w grze: liczba uderzeń do bramki (S), liczba

podaj (P), skuteczność podaj (PA) [%]. Ponadto w badaniu odniesiono się do końcowego rezultatu w turnieju drużyn narodowych (miejsca od 1 do 32). W **artykule nr 2** monitorowane zmienne obejmowały aktywność fizyczną zawodników: dystans całkowity (TD) [km], liczba podejmowanych wysiłków o prędkości powyżej $14.4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (HIE). W **artykule nr 3** analizie poddano dystans całkowity (TD) [km] oraz dystans pokonany z prędkością $19.8\text{--}25.1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (HSR) [m].

Procedury badawcze

W **artykule nr 1** dotyczącym kierunku przemieszczania się przez strefy czasowe zidentyfikowano ośrodki treningowe i miejsca rozgrywania meczów na Mistrzostwach Świata 2018 w Rosji. Znajdowały się one w czterech strefach czasowych: czas Kaliningradu (GMT +2), czas moskiewski (GMT+3), czas Samary (GMT+4) i czas Jekaterynburga (GMT+5). Mając na uwadze cel pracy, zdecydowano się na zastosowanie kryteriów uwzględniających kierunek przemieszczania się piłkarzy nożnych pomiędzy strefami czasowymi, w których znajdowały się ośrodki treningowe a strefami czasowymi, gdzie odbywały się mecze:

- Kierunek Zachód→Wschód, WE (216 obserwacji meczowych) - ośrodek treningowy znajdował się co najmniej o jedną strefę czasową na zachód od miejsca rozgrywania meczu;
- Ta sama strefa, SZ (655 obserwacji meczowych) - dwa wyżej wymienione obiekty znajdowały się w tej samej strefie czasowej;
- Kierunek Wschód→Zachód, EW (74 obserwacji meczowych) - ośrodek treningowy znajdował się co najmniej o jedną strefę czasową na wschód od miejsca rozgrywania meczu.

W **artykule nr 2** wybranym czynnikiem sytuacyjnym było zanieczyszczenie powietrza podczas meczów piłki nożnej. Dane dotyczące jakości powietrza określono na podstawie zapisów z systemu monitoringu zanieczyszczenia powietrza Niemieckiej Agencji Środowiska (Umweltbundesamt). Analizie poddano następujące parametry zanieczyszczenia powietrza: pył zawieszony w postaci cząstek stałych mniejszych niż dziesięć mikrometrów (PM10), ditlenek azotu (NO_2) oraz ozon (O_3). Dane odczytano z mierników zanieczyszczenia powietrza znajdujących się najbliżej stadionów, na których rozgrywane były mecze. Dla każdego analizowanego meczu wyznaczono średnią wartość odczytów zanieczyszczenia powietrza z danych zarejestrowanych na początku i na końcu meczu. W kolejnym etapie analizy dla każdego parametru począwszy od najniższego stężenia w powietrzu została przypisana wartość punktowa i sklasyfikowana jako bardzo dobra – 1 punkt, dobra – 2 punkty, umiarkowana

– 3 punkty, dostateczna – 4 punkty, zła – 5 punktów lub bardzo zła – 6 punktów (www.gios.gov.pl). Następnie na podstawie sumy wartości punktowych opracowano zintegrowany model trzech rodzajów zanieczyszczeń powietrza i utworzono 4 kategorie jakości powietrza:

- Jakość powietrza bardzo dobra (2563 obserwacje) – suma wartości punktowych dla trzech badanych parametrów (PM10, O₃, NO₂) wynosiła 3, czyli wszystkie trzy obserwowane parametry miały bardzo niskie stężenie w powietrzu (np. 1 + 1 + 1 = 3).
- Jakość powietrza dobra (3749 obserwacji) – suma wartości punktowych dla trzech badanych parametrów wynosiła 4, czyli jeden z parametrów miał wyższą wartość punktową (wyższe stężenie w powietrzu) (np. 2 + 1 + 1 = 4).
- Jakość powietrza umiarkowana (1882 obserwacji) — suma wartości punktowych dla trzech badanych parametrów wynosiła 5, np. 1 + 2 + 2 = 5.
- Jakość powietrza słaba (733 obserwacji) – suma wartości punktowych dla trzech badanych parametrów wynosiła co najmniej 6, np. 3 + 2 + 1 = 6.

W **artykule nr 3** zdecydowano się na szczegółową analizę PM10, ponieważ jego stężenie jest jednym z podstawowych parametrów w ocenie jakości powietrza (Anderson, Thundiyil, i Stolbach 2012; Zaric i wsp. 2021). Dane o jakości powietrza wykorzystane w niniejszej analizie pochodzą z Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska (WIOŚ) oraz Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska (GIOŚ) w Polsce, natomiast dane meteorologiczne uzyskano z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej Państwowego Instytutu Badawczego. Do zebrania danych użyto 15 stacji automatycznego monitoringu powietrza zlokalizowanych najbliżej stadionów, na których rozgrywane były mecze Ekstraklasy, a wszystkie pomiary odczytywano z dokładnością do 0,01 µg·m⁻³. W każdym analizowanym meczu wykorzystano trzy pomiary PM10 (na początku, w przerwie i na końcu meczu) i na tej podstawie obliczono średnią arytmetyczną. Następnie miasta, w których odbywały się mecze, na podstawie szerokości geograficznej północnej (N) zostały przypisane do trzech regionów Polski (Północny, Centralny, Południowy) (Cox i Popken 2020). W Regionie Północnym (53°-55° N) zawodnicy rozgrywali mecze na stadionach w Białymstoku, Gdańsku, Gdyni i Szczecinie (1038 obserwacji). W Regionie Centralnym (51°-53° N) zawodnicy rozgrywali mecze w Lubinie, Łodzi, Płocku, Poznaniu, Warszawie i Wrocławiu (1624 obserwacje). Natomiast w Regionie Południowym (49°-51° N) zawodnicy rozgrywali mecze w Częstochowie, Gliwicach, Kielcach, Krakowie i Zabrzu (1632

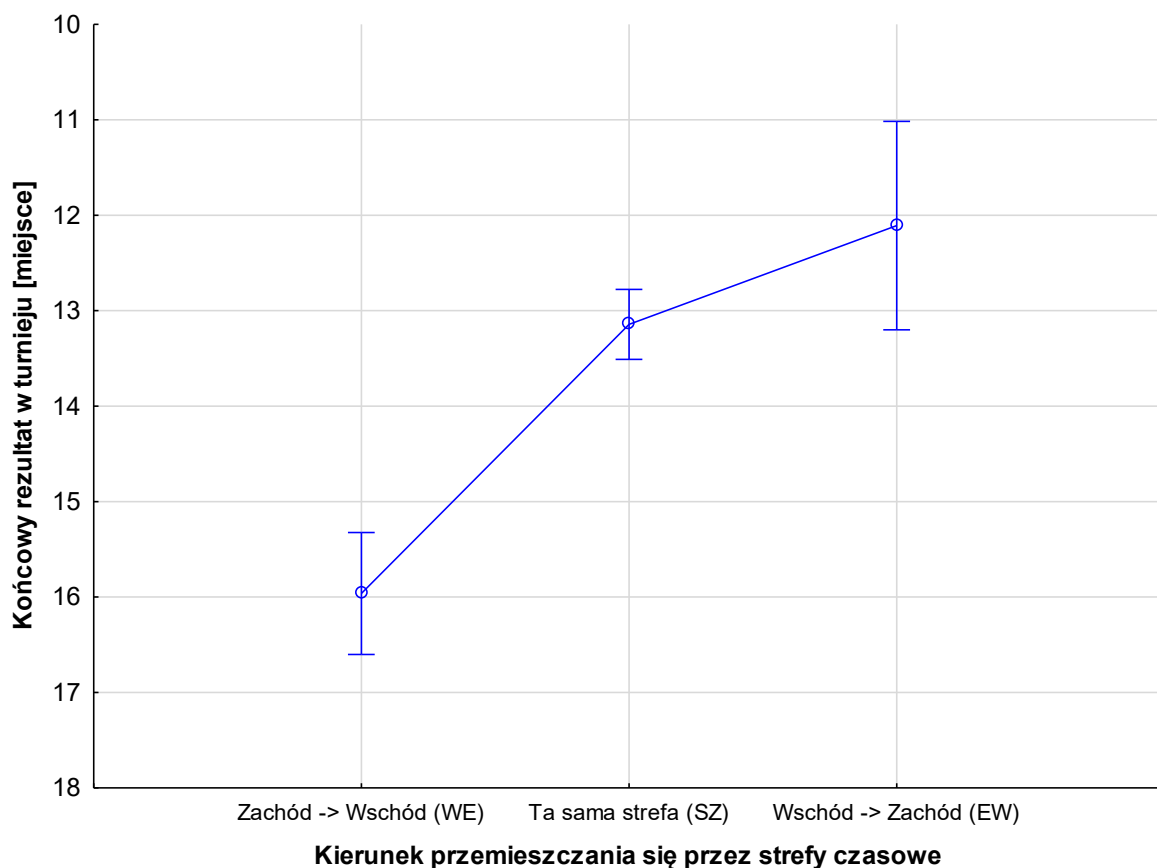
obserwacje). W efekcie otrzymano regiony o istotnie różnym poziomie zanieczyszczenia powietrza (Lubiński i wsp. 2005).

Analiza statystyczna

W **artykule nr 1** różnice między kategoriami kierunków przemieszczania się piłkarzy nożnych pomiędzy strefami czasowymi obliczono za pomocą testu H Kruskala-Wallisa. Jeśli stwierdzono istotną wielkość efektu, przeprowadzono test post-hoc Conovera-Imana (Kruskal 1952; Kruskal i Wallis 1952). Ponadto obliczono d Cohena (Cohen 1988). W **artykule nr 2** wykorzystano korelacje rang Spearmana, a następnie zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji ANOVA z powtarzanymi pomiarami, gdzie czynnikiem były kategorie jakości powietrza. W celu oceny różnic między średnimi przeprowadzono testy post-hoc NIR Fishera. Ponadto obliczono cząstkowe eta kwadrat (η^2) (Cohen 1988). W **artykule nr 3** ponownie zastosowano nieparametryczny test H Kruskala-Wallisa, gdzie czynnikiem były regiony Polski o zróżnicowanym poziomie zanieczyszczenia. Dla wszystkich badań przeprowadzono testy sprawdzające normalność rozkładu zmiennych oraz jednorodność wariancji. Obliczono średnie arytmetyczne, mediany, odchylenia standardowe i błędy standardowe. Poziom istotności statystycznej ustalono na $p \leq 0,05$. Wszystkie analizy statystyczne wykonano przy użyciu programu Statistica z pakietami oprogramowania 13.1 lub 13.3 (Dell Inc., Tulsa, OK, USA).

V. Wyniki badań

W artykule nr 1 wykazano, że przemieszczanie się przez strefy czasowe istotnie różnicowało końcowy rezultat w turnieju osiągniany przez drużyny narodowe na Mistrzostwach Świata 2018 w Rosji ($F = 8,478(2); p = 0,001$), co można zaobserwować na Rycinie 1. Różnice istotne statystycznie (przy $p \leq 0,05$) zaobserwowano pomiędzy kierunkami przemieszczania: WE-SZ i WE-EW.



Rycina 1. Różnice w końcowych rezultatach turnieju w stosunku do kierunku przemieszczania się przez strefy czasowe (średnia \pm SD).

Ponadto analiza statystyczna aktywności fizycznej i działań w grze zawodników ujawniła efekty w odniesieniu do TD - dystansu całkowitego ($F = 8,800(2); p = 0,001$), HIR - dystansu pokonanego z prędkością 20-25 km·h⁻¹ ($F = 2,601(2); p = 0,050$), liczby wykonanych sprintów ($F = 2,404(2); p = 0,050$), liczby podań ($F = 4,708(2); p = 0,09$) i skuteczności podań ($F = 3,430(2); p = 0,033$). Nie stwierdzono istotnego wpływu przemieszczania się przez strefy

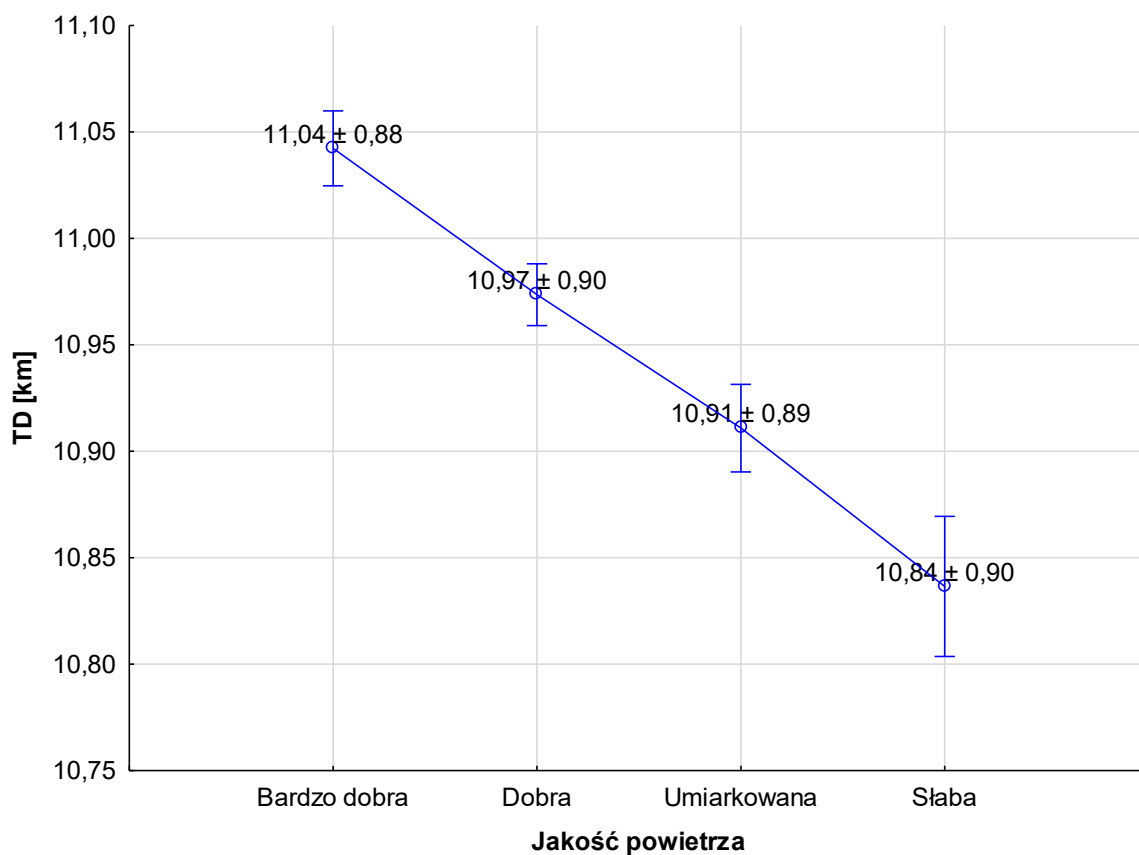
czasowe na liczbę wykonanych uderzeń do bramki ($F = 0,160(2)$; $p = 0,852$) (Tabela 1). W przypadku wszystkich badanych parametrów poza skutecznością podań, najniższe wartości zostały zarejestrowane, kiedy zmiana strefy czasowej pomiędzy ośrodkiem treningowym a stadionem nastąpiła w kierunku Zachód→Wschód (WE) (Tabela 1).

Tabela 1. Różnice w aktywności fizycznej i działań w grze zawodników w odniesieniu do kierunku przemieszczania się piłkarzy nożnych pomiędzy strefami czasowymi (średnia \pm SD).

Parametr	Kierunek przemieszczania się pomiędzy strefami czasowymi (ośrodek treningowy \rightarrow stadion)			F (sig)	SSD ($p \leq 0.05$)
	Zachód→Wschód	Ta sama strefa	Wschód→Zachód		
	(WE)	(SZ)	(EW)		
TD [km]	9,79 \pm 0,96	10,21 \pm 1,42	10,06 \pm 0,79	8,800 (0,001)	WE<SZ WE<EW
HIR [m]	503,79 \pm 165,75	533,82 \pm 181,10	541,69 \pm 168,62	2,601 (0,050)	WE<SZ
Sprinty [liczba]	29,87 \pm 10,62	31,78 \pm 11,69	31,99 \pm 11,01	2,404 (0,050)	WE<EW WE<SZ
Uderzenia do bramki [liczba]	1,08 \pm 1,36	1,15 \pm 1,45	1,17 \pm 1,44	0,160 (0,852)	-
Podania [liczba]	42,24 \pm 17,43	45,30 \pm 24,87	51,80 \pm 23,88	4,706 (0,009)	WE<EW SZ<EW
Skuteczność podań [%]	83,42 \pm 9,44	82,67 \pm 11,06	85,98 \pm 8,05	3,430 (0,033)	SZ<EW

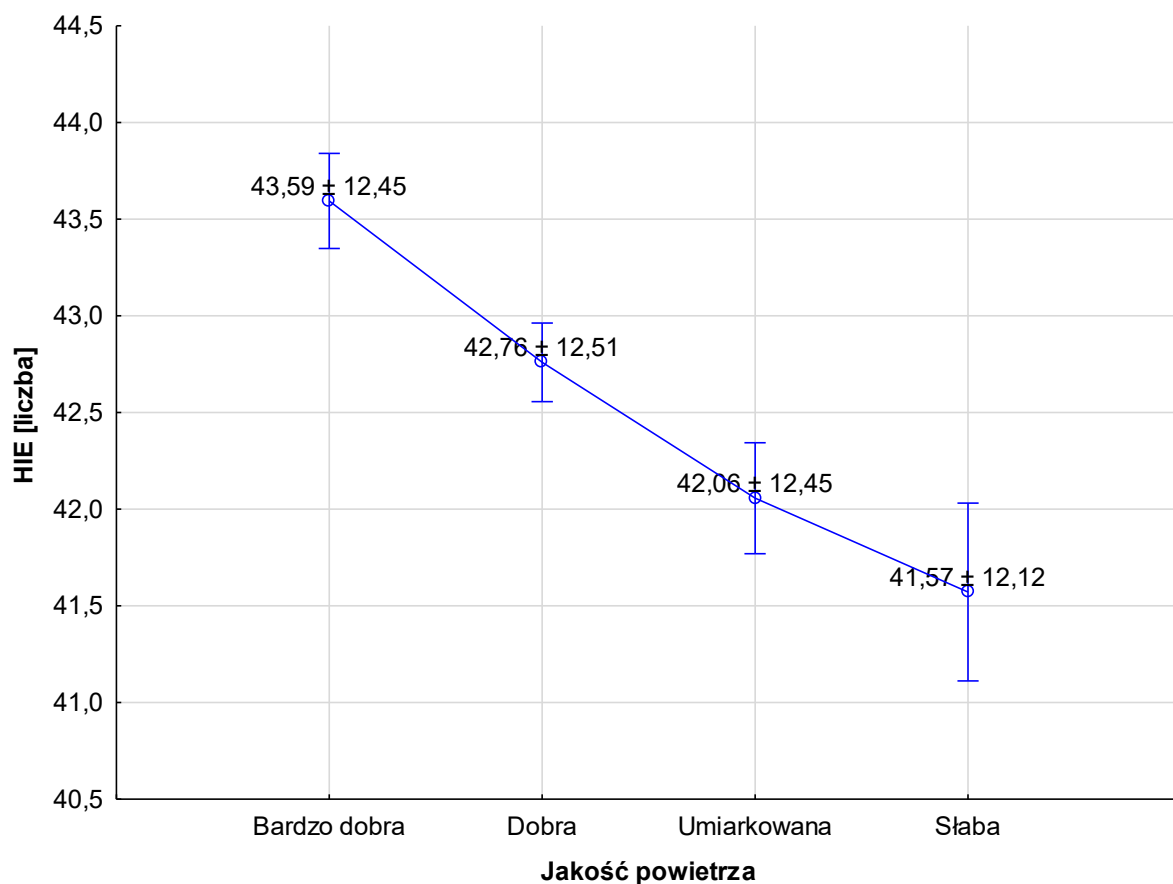
Legenda: TD - dystans całkowity, HIR - dystans pokonany z prędkością 20-25 km·h⁻¹, SSD – statystycznie istotne różnice

W artykule nr 2 analiza statystyczna aktywności fizycznej zawodników występujących w Bundeslidze w kontekście kategorii jakości powietrza (bardzo dobra, dobra, umiarkowana, słaba) wykazała efekty w stosunku do TD - całkowitego dystansu ($F = 13,900(3)$; $p = 0,001$; $\eta^2 = 0,005$) – Rycina 2 oraz HIE - liczby podejmowanych wysiłków o prędkości powyżej 14.4 km·h⁻¹ ($F = 8,060(3)$; $p = 0,001$; $\eta^2 = 0,003$) – Rycina 3.



Rycina 2. Różnice w całkowitym dystansie pokonywanym przez piłkarzy nożnych w zależności od kategorii jakości powietrza (średnia \pm SD).

W odniesieniu do TD zaobserwowano różnice istotne statystycznie pomiędzy następującymi kategoriami jakości powietrza: bardzo dobra - dobra $p = 0,01$, dobra - umiarkowana $p = 0,01$, umiarkowana - słaba $p = 0,05$ – Rycina 2.



Rycina 3. Różnice w liczbie podejmowanych wysiłków o wysokiej intensywności przez piłkarzy nożnych w zależności od kategorii jakości powietrza (średnia \pm SD).

W odniesieniu do HIE zaobserwowano różnice istotne statystycznie pomiędzy następującymi kategoriami: bardzo dobra – dobra $p = 0,01$, dobra - umiarkowana $p = 0,05$ – Rycina 3.

W **artykule nr 3** analiza statystyczna PM10 i aktywności fizycznej zawodników Ekstraklasy w zależności od regionów Polski (Północny, Centralny, Południowy) ujawniła efekty w odniesieniu do PM10 ($H = 215,6566(2)$; $p = 0,0001$), TD – dystansu całkowitego ($H = 28,2682(2)$; $p = 0,0001$). Nie stwierdzono istotnego efektu dla HSR - dystansu pokonanego z prędkością 19.8–25.1 km·h⁻¹ ($H = 3,411(2)$; $p = 0,1817$) - Tabela 2.

Tabela 2. Wartość zanieczyszczenia powietrza i parametrów aktywności fizycznej według regionów (średnia \pm SD).

Parameter	Region			SSD p<0,05
	Północny (N)	Centralny (C)	Południowy (S)	
PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	18,16 \pm 11,70	22,20 \pm 12,62	27,33 \pm 20,32	N<C; N<S; C<S
TD [km]	10,78 \pm 0,83	10,61 \pm 0,87	10,59 \pm 0,90	N<C; N<S
HSR [m]	669,84 \pm 204,55	656,10 \pm 214,83	661,43 \pm 214,26	-

Legenda: TD - dystans całkowity, HSR - dystans pokonany z prędkością 19.8–25.1 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, SSD – statystycznie istotne różnice

Podsumowując wyniki należy zauważyć, że w każdym artykule składającym się na cykl publikacji wykazany jako osiągnięcie naukowe stwierdzono, że wybrany czynnik sytuacyjny istotnie różnicuje analizowane parametry w grze w piłkę nożną. W **artykule nr 1** czynnik sytuacyjny zdefiniowany jako kierunek przemieszczania się pomiędzy strefami czasowymi, w których znajdowały się ośrodki treningowe a strefami czasowymi, gdzie odbywały się mecze istotnie różnicował wynik gry, aktywność fizyczną oraz działania w grze zawodników grających w piłkę nożną. Natomiast w **artykule nr 2** oraz **artykule nr 3** wykazano istotne różnice w aktywności fizycznej piłkarzy nożnych pod wpływem czynnika sytuacyjnego określonego jako jakość powietrza, uwzględniającego parametry zanieczyszczenia powietrza: PM10, NO₂ i O₃.

VI. Dyskusja

Głównym celem rozprawy doktorskiej stanowiącej spójny tematycznie zbiór trzech oryginalnych artykułów składających się na cykl publikacji wykazany jako osiągnięcie naukowe jest ocena wpływu wybranych czynników sytuacyjnych na wynik gry, zdolności wysiłkowe i działania w grze zawodników grających w piłkę nożną. W **artykule nr 1** celem badań była ocena zmian aktywności fizycznej i działań w grze piłkarzy nożnych, spowodowanych kierunkiem przemieszczania się przez strefy czasowe pomiędzy ośrodkami treningowymi a miejscami rozgrywania meczów podczas Mistrzostw Świata 2018 w Rosji. Do tej pory podjęto kilka badań o zbliżonej tematyce, w których wykazano, że zarówno wyniki osiągane w sportach zespołowych jak i sportach indywidualnych są zakłócone po podróży lotniczej w kierunku wschodnim (Jehue, Street, i Huizenga 1993; Recht, Lew, i Schwartz 1995; Richmond i wsp. 2004; Steenland i Deddens 1997). Moje badania potwierdzają te obserwacje. Co więcej dla piłkarzy nożnych uczestniczących w turnieju odbywającym się w kilku strefach czasowych, najbardziej korzystna jest zmiana strefy czasowej z ośrodka treningowego na miejsce rozgrywania meczu w kierunku zachodnim (Wschód→Zachód). Drużyny, które podczas turnieju przemieszczały się w tym kierunku uzyskały średnio aż o 4 lokaty wyższe miejsce w końcowej klasyfikacji turnieju od drużyn przemieszczających się w kierunku wschodnim (Zachód→Wschód). Z moich analiz wynika również, że pozostając w tej samej strefie czasowej (SZ) drużyny osiągają korzystniejszy końcowy rezultat w turnieju średnio aż o 3 miejsca od drużyn przemieszczających się w kierunku wschodnim (Zachód→Wschód). Choć publikacji naukowych tego typu jest niewiele to można zauważyć, że już w 1993 roku Jehue, Street i Huizenga dostrzegli podobny problem w amerykańskiej NFL (National Football League) i wykazali, że drużyny podróżujące z zachodniego wybrzeża do centralnej części Stanów Zjednoczonych lub na wschodnią część kraju, wykazywały znaczny spadek skuteczności działań w grze. Istnieją zatem dowody sugerujące, że kierunek przemieszczania się przez strefy czasowe zwłaszcza w kierunku zachodnim (Wschód→Zachód), ma pozytywny wpływ na wyniki końcowe osiągane przez zespoły oraz na aktywność fizyczną i działania w grze sportowców.

Końcowy wynik gry jest między innymi efektem aktywności fizycznej jaką zawodnicy wykonują w trakcie meczu. Dystans pokonywany z prędkością 20-25 km·h⁻¹ (HIR) jest jedną z najważniejszych aktywności fizycznych podczas meczów piłki nożnej (Augusto i wsp. 2022; Clemente i wsp. 2022) i jak pokazują wcześniejsze badania jest kluczowym parametrem determinującym osiągnięcie korzystnego wyniku gry (Augusto i wsp. 2022; Harper, Carling,

i Kiely 2019). W tym kontekście bardzo istotne są wyniki moich badań, które wskazują, że czynnik sytuacyjny definiowany jako kierunek przemieszczania się przez strefy czasowe ma istotny wpływ na parametry szybkościowe. Zespoły przemieszczające się pomiędzy strefami czasowymi w kierunku wschodnim mają istotnie niższe wartości HIR, mniejszą liczbę sprintów oraz krótszy całkowity dystans podczas meczu.

Uderzenia do bramki są najbardziej znaczącym działaniem w grze w kontekście wygrania meczu (Konefał i wsp. 2018; Liu i wsp. 2015). Jednak zaskakujące jest, że w moim badaniu nie wykazano zależności pomiędzy kierunkiem przemieszczania się zawodników przez strefy czasowe a liczbą wykonanych uderzeń do bramki. Może być to wynikiem mniejszej średniej liczby uderzeń do bramki w czasie meczu zarejestrowanych na Mistrzostwach Świata 2018 w Rosji (około 10 uderzeń w meczu) w odniesieniu do EURO 2012, gdzie średnia liczba uderzeń wyniosła 17 (Shafizadeh, Taylor, i Peñas 2013) oraz EURO 2016, gdzie wykonywano jedno uderzenie do bramki średnio co 7 minut (Konefał i wsp. 2018). W przeciwieństwie do liczby uderzeń do bramki, kierunek przemieszczania się przez strefy czasowe istotnie różnicuje liczbę wykonywanych podań oraz ich skuteczność. W moich badaniach ustaliłem, że istotnie więcej podań wykonują zespoły, które przemieszczają się w kierunku Wschód→Zachód. Dodatkowo przemieszczając się pomiędzy strefami czasowymi w powyższym kierunku, skuteczność podań jest istotnie wyższa niż w przypadku pozostania w tej samej strefie czasowej. W odniesieniu do przemieszczania się w kierunku Zachód→Wschód skuteczność podań jest również wyższa, ale nie jest poparta istotnością statystyczną. Jest to ważna informacja dla sztabów szkoleniowych reprezentacji narodowych ze względu na to, że liczba podań oraz ich skuteczność jest pozytywnie skorelowana z wynikami w meczu (Liu i wsp. 2015).

Zwrócenie uwagi na związek między kierunkiem przemieszczania się przez strefy czasowe a aktywnością fizyczną oraz działaniami w grze w turniejach takich jak Mistrzostwa Świata w Piłce Nożnej jest istotne, ponieważ szczególnie w fazie pucharowej porażka oznacza utratę szansy na zdobycie tytułu mistrzowskiego i skutkuje odpadnięciem z turnieju. Dlatego, jak wynika z moich badań, sztaby trenerskie powinny dążyć do tego, aby nie wybierać ośrodków treningowych w strefach czasowych położonych na zachód od ustalonych miejsc rozgrywania meczów.

Warto zastanowić się dlaczego kierunek przemieszczania się pomiędzy strefami czasowymi istotnie różnicuje osiągnane wyniki, aktywność fizyczną oraz działania w grze zawodników. Można założyć, że przemieszczając się w kierunku Wschód→Zachód, różnice wynikające ze zmiany stref czasowych są w pewnym stopniu niwelowane przez czas podróży.

Bardzo dobrym przykładem będą dwa miasta, w których odbywały się mecze grupy C podczas Mistrzostw Europy w 2020 roku, czyli Rzym (strefa czasowa GMT+1) i Baku (strefa czasowa GMT+4). Różnica między powyższymi miastami wynosi 3 godziny, zatem zespół wylatujący z Baku o godzinie 12:00 czasu lokalnego przybędzie do Rzymu również około godziny 12:00 czasu lokalnego. Z kolei przemieszczając się z Rzymu do Baku (kierunek Zachód→Wschód) zespół odlatujący o godzinie 12:00 czasu lokalnego dotrze do miejsca docelowego około godziny 18:00 czasu lokalnego. Jest to więc sześciogodzinna różnica, która z pewnością będzie miała duże znaczenie z punktu widzenia rytmu okołodobowego, a co za tym idzie zmęczenia zawodników i ich zdolności wysiłkowych (Fullagar i wsp. 2016).

Jestem świadomy wielu ograniczeń związanych z analizami opisanymi w **artykule nr 1**, które mogły mieć wpływ na uzyskane wyniki. Ograniczeniem tego badania jest brak uwzględnienia informacji, takich jak dokładny czas przemieszczenia się danej drużyny z ośrodka treningowego na miejsce rozgrywania meczu oraz czas przerwy między kolejnymi meczami w turnieju. Analiza mogłaby również uwzględniać inne czynniki, które mogą wchodzić w zależności z kierunkiem przemieszczania się, np. warunki klimatyczne lub strategia gry zespołów.

W **artykule nr 2** celem badań było określenie wpływu jakości powietrza analizowanej na podstawie zintegrowanego modelu trzech rodzajów zanieczyszczeń powietrza (O_3 , NO_2 , PM_{10}) na aktywność fizyczną piłkarzy nożnych występujących w niemieckiej Bundeslidze. **Artykuł nr 3** również dotyczył problemu zanieczyszczenia powietrza, natomiast w analizach uwzględniono trzy regiony Polski, charakteryzujące się istotnym zróżnicowaniem zanieczyszczenia powietrza (Kocot i Zejda 2022). Celem tych badań było określenie wpływu jakości powietrza analizowanej na podstawie parametru PM_{10} w trzech regionach Polski na aktywność fizyczną piłkarzy nożnych polskiej Ekstraklasy.

Jak dotąd podjęto niewiele badań uwzględniających wyżej wymieniony problem badawczy. Jednak kontynuacja badań w tym obszarze jest bardzo ważna, ponieważ dotyczy aktywności fizycznej sportowców oraz dodatkowo pośrednio prozdrowotnego charakteru codziennej aktywności fizycznej ogółu społeczeństwa. W literaturze naukowej w odniesieniu do sportowców można znaleźć publikacje dotyczące głównie biegaczy lub kolarzy. Dla przykładu El Helou i wsp. (2012) stwierdzili, że wyższy poziom O_3 był związany z uzyskiwaniem gorszych miejsc w klasyfikacji końcowej w sześciu miejskich maratonach. Zmniejszoną wydolność zaobserwowano też w innych badaniach dotyczących biegaczy, którzy trenowali w pobliżu ruchliwych autostrad (Rundell i wsp. 2008) oraz kolarzy podczas jazdy po trasach o dużym natężeniu ruchu (Strak i wsp. 2010). Moje analizy są naukowym

uzupełnieniem tych badań, ponieważ zgodnie z moją najlepszą wiedzą wcześniej opublikowano zaledwie jedno badanie dotyczące wpływu jakości powietrza na aktywność fizyczną profesjonalnych piłkarzy nożnych. Jest to zaskakujące, ponieważ gra w piłkę nożną jest jedną z najpopularniejszych sportów drużynowych rozgrywanych w warunkach zewnętrznych i według najnowszego raportu FIFA gra w nią ponad 128 000 zawodowych piłkarzy ze 187 krajów (www.fifa.com).

We wspomnianym wyżej jedynym opublikowanym badaniu Lichter, Pestel i Sommer (2017) ocenili wpływ zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym na piłkarzy nożnych rozgrywających mecze na niemieckich stadionach i stwierdzili, że działania w grze były gorsze w warunkach złej jakości powietrza. Jednakże jedynym brany pod uwagę parametrem zanieczyszczenia powietrza był PM10, a działania w grze ograniczono zaledwie do liczby podań w meczu. Jednak dystans całkowity i dystans pokonany z wysoką intensywnością wydają się być bardziej wartościowymi parametrami do oceny wyników w kontekście jakości powietrza (Barnes i wsp. 2014), ponieważ dystanse pokonywane z wysoką intensywnością są obecnie uważane za jedne z najważniejszych aktywności fizycznych w profesjonalnej grze w piłkę nożną (Konefał i wsp. 2019). W związku z tym w moich analizach znacznie rozszerzono zakres mierzonych parametrów zanieczyszczeń powietrza oraz zdecydowano się uwzględnić aktywność fizyczną zawodników. Dzięki temu odkryłem, że podwyższone stężenie w powietrzu zaledwie jednego parametru zanieczyszczenia powietrza nie tylko negatywnie wpływa na działania w grze, takie jak podania (Lichter, Pestel, i Sommer 2017), ale także na najważniejsze aktywności fizyczne, takie jak dystans całkowity (TD) i liczbę podejmowanych wysiłków o prędkości powyżej $14.4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ (HIE) podczas meczu. Z moich analiz wynika, że rywalizacja podejmowana w coraz gorszych warunkach jakości powietrza istotnie zmniejsza zarówno TD, jak i HIE. Wykazana w **artykule nr 2** różnica pomiędzy średnim dystansem przebytym przez każdego zawodnika w meczach o bardzo dobrej jakości powietrza w porównaniu do meczów rozgrywanych przy słabej jakości powietrza wynosi 0,2 km (ok. 2 km dla całej drużyny). Dodatkowo różnica pomiędzy wskazanymi powyżej kategoriami jakości powietrza dla parametru HIE wynosi 2 powtórzenia, czyli aż 20 dla całej drużyny. Jak widać nawet niewielkie podwyższenie stężenia jednego parametru zanieczyszczenia powietrza może powodować ograniczenia aktywności fizycznej zawodników, co może pośrednio wpłynąć na wynik rywalizacji (Chmura i wsp. 2018).

W **artykule nr 3** analizując średni poziom stężenia PM10 w trzech regionach Polski zauważyłem, że im bardziej region położony jest na południe, tym wyższy jest poziom zanieczyszczenia powietrza. Różnica może wynikać z faktu, że region południowy jest

najbardziej uprzemysłowiony w Polsce, do którego zalicza się aglomerację śląską oraz Kraków, który jest jednym z miast o najgorszej jakości powietrza w Europie (Traczyk i Gruszecka-Kosowska 2020). Z kolei w regionie centralnym znajdują się duże miasta takie jak Warszawa, a więc miasto bardziej zanieczyszczone niż np. Białystok i Gdańsk zaliczanych do północnego regionu (Slama i wsp. 2020). Różnice mogą być spowodowane ukształtowaniem terenu, jak również warunkami meteorologicznymi. Grając w najlepszych warunkach jakości powietrza (najniższy poziom PM10), czyli w regionie północnym, zawodnicy pokonywali istotnie dłuższy dystans całkowity (TD) w porównaniu do regionu centralnego i południowego. Ponadto analizując dystans pokonany z prędkością 19.8–25.1 km·h⁻¹ (HSR) również zauważono, że w regionie północnym zawodnicy osiągają najlepsze wyniki, choć nie jest to poparte istotnością statystyczną. Widać więc, że rozgrywając mecze w środowisku o mniejszym zanieczyszczeniu powietrza, piłkarze mogą uzyskiwać lepsze wyniki w parametrach aktywności fizycznej.

Wobec powyższego warto przeanalizować reakcję organizmu człowieka na oddychanie zanieczyszczonym powietrzem i jego wpływ na zdolności wysiłkowe zawodników. Każda forma aktywności fizycznej zwiększa ilość powietrza wentylowanego przez płuca (VE), która jest kilkakrotnie większa podczas wysiłku nawet o umiarkowanej intensywności niż w spoczynku (Allen 2004; Bowen, Benson, i Rossiter 2019; Żołędź, Szkutnik, i Grassi 2019). Wraz ze zwiększonym wysiłkiem fizycznym organizm wchłania więcej szkodliwych substancji z powietrza (PM10, O₃, NO₂), dlatego jakość powietrza podczas meczu piłki nożnej jest niezwykle ważna (Duda i wsp. 2020). Badanie Kargarfard i wsp. (2015) wykazało, że wysokie stężenie zanieczyszczeń powietrza podczas aktywności fizycznej spowalnia funkcje układu krążenia, a także wpływa na parametry hematologiczne. W efekcie następuje pogorszenie czynności płuc, co z kolei skutkuje zmniejszeniem szczytowego przepływu wydechowego i zwiększonym zapaleniem dróg oddechowych u sportowców (Qin i wsp. 2019). Ponadto podwyższone ciśnienie krwi i inne choroby sercowo-naczyniowe wywołane zanieczyszczeniem powietrza mogą powodować obniżenie zdolności wysiłkowych i wyników sportowych (An i wsp. 2018; Tainio i wsp. 2021). Każdy z parametrów zanieczyszczenia powietrza uwzględniony w moich badaniach (PM10, O₃, NO₂) powoduje inne negatywne skutki w organizmie człowieka. Jednak warto zauważyć, że wszystkie trzy są szczególnie niebezpieczne, co potwierdzają badania Rundell i wsp. (2015) oraz Tainio i wsp. (2021).

W **artykule nr 2** i **artykule nr 3** ponownie nie uwzględniono wielu czynników, które mogły mieć wpływ na wyniki przedstawionych analiz (Teixeira i wsp. 2021). Dane jakości powietrza zostały pozyskane ze stacji pomiarowych położonych najbliżej stadionów, jednak

aby pomiary były precyzyjne, mierniki zanieczyszczenia powietrza należałoby umieścić wewnątrz stadionów piłkarskich. Dodatkowo wpływ na rzeczywistą jakość powietrza na danym stadionie mógł mieć rodzaj zabudowy pomiędzy stacją pomiarową a stadionem. Rozwijając ten problem badawczy w przyszłych badaniach warto wziąć pod uwagę więcej parametrów aktywności fizycznej, np. liczbę wykonanych przyspieszeń lub zmiany kierunku biegu.

VII. Wnioski i zastosowanie praktyczne

W wyniku przeprowadzonych analiz można stwierdzić, że uwzględnione w niniejszych badaniach czynniki sytuacyjne istotnie różnicują wynik gry, zdolności wysiłkowe oraz działania w grze piłkarzy nożnych. Analiza przeprowadzona w **artykule nr 1** jako pierwsza w literaturze naukowej dokumentuje istotny związek kierunku przemieszczania się przez strefy czasowe pomiędzy ośrodkami treningowymi a miejscami rozgrywania meczów podczas turnieju rangi Mistrzostw Świata. Sytuacja, w której zawodnicy pozostają w tej samej strefie czasowej lub przemieszczają się ze wschodu na zachód jest najbardziej korzystna dla uzyskania wyższego miejsca w końcowej klasyfikacji turnieju, dla poziomu aktywności fizycznej (dystans całkowity, dystans pokonany z prędkością $20-25 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, liczba sprintów) oraz działań w grze zawodników (liczba i skuteczność podań). Z tego względu kierunek przemieszczania się piłkarzy nożnych pomiędzy strefami czasowymi powinien być brany pod uwagę przez sztaby trenerskie przy wybieraniu ośrodków treningowych i planowaniu procesu przygotowań do turniejów piłkarskich rozgrywanych w kilku strefach czasowych. Taka sytuacja zdarzy się podczas Mistrzostwa Świata w 2026 roku, które będą organizowane wspólnie przez USA, Kanadę i Meksyk.

Zanieczyszczenie powietrza jest również ważnym czynnikiem sytuacyjnym podczas gry w piłkę nożną, co potwierdzono w dwóch kolejnych artykułach wchodzących w skład cyklu publikacji wykazanych jako osiągnięcie naukowe. W **artykule nr 2** analiza zintegrowanego modelu trzech parametrów zanieczyszczenia powietrza wykazała, że podwyższone stężenie w powietrzu zaledwie jednego parametru zanieczyszczenia powietrza, skutkuje obniżeniem aktywności fizycznej profesjonalnych piłkarzy nożnych. W **artykule nr 3** udowodniono, że nawet krótkotrwały pobyt w bardziej zanieczyszczonych regionach Polski obniża poziom aktywności fizycznej piłkarzy nożnych. Może to pośrednio wpływać na wynik gry. Jest to ważna informacja, ponieważ zanieczyszczenie powietrza stanowi obecnie duży problem dla wielu krajów, a moje badania są kolejnym dowodem na to, że należy podjąć działania w zakresie poprawy jakości powietrza w celu ochrony zdrowia sportowców oraz optymalizacji dynamiki gry w piłkę nożną.

VIII. Piśmiennictwo

- Allen, Trevor J. 2004. „Textbook of Work Physiology: Physiological Bases of Exercise, Fourth Edition”. Zredagowane przez Per-Olof Astrand, Kaare Rodahl, Hans A. Dahl, i Sigmund B. Stromme. *Physiotherapy Canada* 56 (04): 248. <https://doi.org/10.2310/6640.2004.00030>.
- An, Ruopeng, Sheng Zhang, Mengmeng Ji, i Chenghua Guan. 2018. „Impact of Ambient Air Pollution on Physical Activity among Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis”. *Perspectives in Public Health* 138 (2): 111–21. <https://doi.org/10.1177/1757913917726567>.
- Anderson, Jonathan O., Josef G. Thundiyil, i Andrew Stolbach. 2012. „Clearing the Air: A Review of the Effects of Particulate Matter Air Pollution on Human Health”. *Journal of Medical Toxicology* 8 (2): 166–75. <https://doi.org/10.1007/s13181-011-0203-1>.
- Andrzejewski, Marcin, Paweł Chmura, Marek Konefał, Edward Kowalczyk, i Jan Chmura. 2018. „Match Outcome and Sprinting Activities in Match Play by Elite German Soccer Players”. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 58 (6): 785–92. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.17.07352-2>.
- Aquino, Rodrigo, Luiz Guilherme Gonçalves, Marcos Galgaro, Thiago Santi Maria, Eduardo Rostaiser, Alejandro Pastor, Hadi Nobari, Gabriel Rodrigues Garcia, Maxwell Viana Moraes-Neto, i Fábio Yuzo Nakamura. 2021. „Match Running Performance in Brazilian Professional Soccer Players: Comparisons between Successful and Unsuccessful Teams”. *BMC Sports Science, Medicine & Rehabilitation* 13 (1): 93. <https://doi.org/10.1186/s13102-021-00324-x>.
- Augusto, Diêgo, João Brito, Rodrigo Aquino, Dailson Paulucio, Pedro Figueiredo, Bruno Luiz Souza Bedo, Deborah Touguinhó, i Fabrício Vasconcellos. 2022. „Contextual Variables Affect Peak Running Performance in Elite Soccer Players: A Brief Report”. *Frontiers in Sports and Active Living* 4: 966146. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.966146>.
- Barnes, C., D. T. Archer, B. Hogg, M. Bush, i P. S. Bradley. 2014. „The Evolution of Physical and Technical Performance Parameters in the English Premier League”. *International Journal of Sports Medicine* 35 (13): 1095–1100. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1375695>.
- Bowen, T. Scott, Alan P. Benson, i Harry B. Rossiter. 2019. „The Coupling of Internal and External Gas Exchange During Exercise”. W *Muscle and Exercise Physiology*, 217–49. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814593-7.00010-4>.
- Brito, Joao, Maxime Hertzog, i George P. Nassis. 2016. „Do Match-Related Contextual Variables Influence Training Load in Highly Trained Soccer Players?” *Journal of Strength and Conditioning Research* 30 (2): 393–99. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001113>.
- Brown, Terry P., Linda K. Shuker, Lesley Rushton, Fiona Warren, i Jane Stevens. 2001. „The Possible Effects on Health, Comfort and Safety of Aircraft Cabin Environments”. *Journal of the Royal Society for the Promotion of Health* 121 (3): 177–84. <https://doi.org/10.1177/146642400112100315>.
- Carling, Christopher, Mathieu Lacombe, Alan McCall, Gregory Dupont, Franck Le Gall, Ben Simpson, i Martin Buchheit. 2018. „Monitoring of Post-Match Fatigue in Professional Soccer: Welcome to the Real World”. *Sports Medicine* 48 (12): 2695–2702. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0935-z>.
- Carlisle, A J, i N C C Sharp. 2001. „Exercise and Outdoor Ambient Air Pollution”. *British Journal of Sports Medicine* 35 (4): 214–22. <https://doi.org/10.1136/bjism.35.4.214>.
- Chapelle, L., B. Tassignon, N. Rommers, E. Mertens, P. Mullie, i P. Clarys. 2020. „Pre-Exercise Hypohydration Prevalence in Soccer Players: A Quantitative Systematic Review.” *European Journal of Sport Science* 20 (6): 744–55. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1669716>.
- Chmura, Paweł, Marek Konefał, Jan Chmura, Edward Kowalczyk, Tomasz Zając, Andrzej Rokita, i Marcin Andrzejewski. 2018. „Match outcome and running performance in different

- intensity ranges among elite soccer players". *Biology of Sport* 35 (2): 197–203. <https://doi.org/10.5114/biol sport.2018.74196>.
- Cichowicz, Robert, i Artur Stelęgowski. 2019. „Average Hourly Concentrations of Air Contaminants in Selected Urban, Town, and Rural Sites". *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 77 (2): 197–213. <https://doi.org/10.1007/s00244-019-00627-8>.
- Clemente, Filipe Manuel, Ana Filipa Silva, Adam Kawczyński, Mehmet Yıldız, Yung-Sheng Chen, Sabri Birlık, Hadi Nobari, i Zeki Akyıldız. 2022. „Physiological and Locomotor Demands during Small-Sided Games Are Related to Match Demands and Physical Fitness? A Study Conducted on Youth Soccer Players". *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation* 14 (1): 138. <https://doi.org/10.1186/s13102-022-00535-w>.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral Sciences*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Cox, Louis Anthony, i Douglas A. Popken. 2020. „Should Air Pollution Health Effects Assumptions Be Tested? Fine Particulate Matter and COVID-19 Mortality as an Example". *Global Epidemiology* 2 (listopad): 100033. <https://doi.org/10.1016/j.gloepi.2020.100033>.
- Duda, Henryk, Łukasz Rydzik, Wojciech Czarny, Wiesław Błach, Karol Görner, i Tadeusz Ambroży. 2020. „Reaction of the Organisms of Young Football Players to City Smog in the Sports Training". *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17 (15): 5510. <https://doi.org/10.3390/ijerph17155510>.
- El Helou, Nour, Muriel Tafflet, Geoffroy Berthelot, Julien Tolaini, Andy Marc, Marion Guillaume, Christophe Hausswirth, i Jean-François Toussaint. 2012. „Impact of Environmental Parameters on Marathon Running Performance". *PloS One* 7 (5): e37407. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037407>.
- FIFA. Oficjalna strona internetowa: www.fifa.com (dostęp 30.03.2023).
- Fitch, Ken. 2016. „Air Pollution, Athletic Health and Performance at the Olympic Games". *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 56 (7–8): 922–32.
- Fullagar, Hugh H.K., Rob Duffield, Sabrina Skorski, David White, Jonathan Bloomfield, Sarah Kölling, i Tim Meyer. 2016. „Sleep, Travel, and Recovery Responses of National Footballers During and After Long-Haul International Air Travel". *International Journal of Sports Physiology and Performance* 11 (1): 86–95. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0012>.
- Główny Inspektorat Ochrony Środowiska (GIOŚ) w Polsce. Oficjalna strona internetowa: www.gios.gov.pl (dostęp 30.03.2023).
- Gonçalves, Bruno, Diogo Coutinho, Juliana Exel, Bruno Travassos, Carlos Lago, i Jaime Sampaio. 2019. „Extracting Spatial-Temporal Features That Describe a Team Match Demands When Considering the Effects of the Quality of Opposition in Elite Football". *PloS One* 14 (8): e0221368. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221368>.
- Goumas, Chris. 2014. „Home Advantage in Australian Soccer". *Journal of Science and Medicine in Sport* 17 (1): 119–23. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.02.014>.
- Gupta, Pawan, Sundar A. Christopher, Jun Wang, Robert Gehrig, Yc Lee, i Naresh Kumar. 2006. „Satellite Remote Sensing of Particulate Matter and Air Quality Assessment over Global Cities". *Atmospheric Environment* 40 (30): 5880–92. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.03.016>.
- Harper, Damian J., Christopher Carling, i John Kiely. 2019. „High-Intensity Acceleration and Deceleration Demands in Elite Team Sports Competitive Match Play: A Systematic Review and Meta-Analysis of Observational Studies". *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)* 49 (12): 1923–47. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01170-1>.
- Jehue, Richard, David Street, i Robert Huizenga. 1993. „Effect of Time Zone and Game Time Changes on Team Performance: National Football League". *Medicine & Science in Sports & Exercise* 25 (1): 127–31. <https://doi.org/10.1249/00005768-199301000-00017>.

- Kargarfard, Mehdi, Ardalan Shariat, Brandon S. Shaw, Ina Shaw, Eddie T. C. Lam, Ali Kheiri, Amin Eatemadyboroujeni, i Shamsul B. M. Tamrin. 2015. „Effects of Polluted Air on Cardiovascular and Hematological Parameters after Progressive Maximal Aerobic Exercise”. *Lung* 193 (2): 275–81. <https://doi.org/10.1007/s00408-014-9679-1>.
- Khilnani, Gopi C., i Pawan Tiwari. 2018. „Air Pollution in India and Related Adverse Respiratory Health Effects: Past, Present, and Future Directions”. *Current Opinion in Pulmonary Medicine* 24 (2): 108–16. <https://doi.org/10.1097/MCP.0000000000000463>.
- Kocot, Krzysztof, i Jan E Zejda. 2022. „The relationship between ambient air pollution and life expectancy – an ecological fallacy revisited”. *Przegląd Epidemiologiczny*, lipiec, 58–66. <https://doi.org/10.32394/pe.76.07>.
- Kölling, Sarah, Gunnar Treff, Kay Winkert, Alexander Ferrauti, Tim Meyer, Mark Pfeiffer, i Michael Kellmann. 2017. „The Effect of Westward Travel across Five Time Zones on Sleep and Subjective Jet-Lag Ratings in Athletes before and during the 2015’s World Rowing Junior Championships”. *Journal of Sports Sciences* 35 (22): 2240–48. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1265141>.
- Konefał, Marek, Marcin Andrzejewski, Paweł Chmura, Michał Zacharko, i Łukasz Radziwiński. 2021. „Physical Activity of the Right- and Left-Footed Professional Soccer Players from Symmetrical Defensive Positions”. *Symmetry* 13 (9): 1551. <https://doi.org/10.3390/sym13091551>.
- Konefał, Marek, Paweł Chmura, Edward Kowalczyk, António J. Figueiredo, Hugo Sarmento, Andrzej Rokita, Jan Chmura, i Marcin Andrzejewski. 2019. „Modeling of relationships between physical and technical activities and match outcome in elite German soccer players”. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 59 (5). <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.18.08506-7>.
- Konefał, Marek, Paweł Chmura, Michał Zacharko, Jan Chmura, Andrzej Rokita, i Marcin Andrzejewski. 2018. „Match Outcome vs Match Status and Frequency of Selected Technical Activities of Soccer Players during UEFA Euro 2016”. *International Journal of Performance Analysis in Sport* 18 (4): 568–81. <https://doi.org/10.1080/24748668.2018.1501991>.
- Konefał, Marek, Paweł Chmura, Tomasz Zając, Jan Chmura, Edward Kowalczyk, i Marcin Andrzejewski. 2019. „A New Approach to the Analysis of Pitch-Positions in Professional Soccer”. *Journal of Human Kinetics* 66 (marzec): 143–53. <https://doi.org/10.2478/hukin-2018-0067>.
- Kruskal, William H. 1952. „A Nonparametric Test for the Several Sample Problem”. *The Annals of Mathematical Statistics* 23 (4): 525–40. <https://doi.org/10.1214/aoms/1177729332>.
- Kruskal, William H., i W. Allen Wallis. 1952. „Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis”. *Journal of the American Statistical Association* 47 (260): 583–621. <https://doi.org/10.1080/01621459.1952.10483441>.
- Lago-Peñas, Carlos. 2012. „The Role of Situational Variables in Analysing Physical Performance in Soccer”. *Journal of Human Kinetics* 35 (grudzień): 89–95. <https://doi.org/10.2478/v10078-012-0082-9>.
- Landrigan, Philip J, Richard Fuller, Nereus J R Acosta, Olusoji Adeyi, Robert Arnold, Niladri (Nil) Basu, Abdoulaye Bibi Baldé, i in. 2018. „The Lancet Commission on Pollution and Health”. *The Lancet* 391 (10119): 462–512. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32345-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32345-0).
- Lichter, Andreas, Nico Pestel, i Eric Sommer. 2017. „Productivity Effects of Air Pollution: Evidence from Professional Soccer”. *Labour Economics* 48 (październik): 54–66. <https://doi.org/10.1016/j.labeco.2017.06.002>.
- Link, Daniel, i Hendrik Weber. 2017. „Effect of Ambient Temperature on Pacing in Soccer Depends on Skill Level”. *Journal of Strength and Conditioning Research* 31 (7): 1766–70. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001013>.

- Linke, Daniel, Daniel Link, i Martin Lames. 2020. „Football-Specific Validity of TRACAB’s Optical Video Tracking Systems”. Zredagowane przez Hugo A. Kerhervé. *PLOS ONE* 15 (3): e0230179. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230179>.
- Lippi, G., G. C. Guidi, i N. Maffulli. 2008. „Air Pollution and Sports Performance in Beijing”. *International Journal of Sports Medicine* 29 (8): 696–98. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1038684>.
- Liu, Hongyou, Miguel-Ángel Gomez, Carlos Lago-Peñas, i Jaime Sampaio. 2015. „Match Statistics Related to Winning in the Group Stage of 2014 Brazil FIFA World Cup”. *Journal of Sports Sciences* 33 (12): 1205–13. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1022578>.
- Liu, Hongyou, Will Hopkins, A. Miguel Gómez, i S. Javier Molinuevo. 2013. „Inter-Operator Reliability of Live Football Match Statistics from OPTA Sportsdata”. *International Journal of Performance Analysis in Sport* 13 (3): 803–21. <https://doi.org/10.1080/24748668.2013.11868690>.
- Lü, Jiaojiao, Leichao Liang, Yi Feng, Rena Li, i Yu Liu. 2015. „Air Pollution Exposure and Physical Activity in China: Current Knowledge, Public Health Implications, and Future Research Needs”. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12 (11): 14887–97. <https://doi.org/10.3390/ijerph121114887>.
- Lubiński, Wojciech, Izabela Toczyska, Andrzej Chciałowski, i Tadeusz Płusa. 2005. „Influence of Air Pollution on Pulmonary Function in Healthy Young Men from Different Regions of Poland”. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine: AAEM* 12 (1): 1–4.
- McGarry, Tim, Peter O’Donoghue, i Jaime Sampaio, red. 2013. *Routledge Handbook of Sports Performance Analysis*. 0 wyd. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203806913>.
- Modric, Versic, Sekulic, i Liposek. 2019. „Analysis of the Association between Running Performance and Game Performance Indicators in Professional Soccer Players”. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16 (20): 4032. <https://doi.org/10.3390/ijerph16204032>.
- Nieckarz, Zenon, i Jerzy A. Żołądź. 2020. „Low-Cost Air Pollution Monitoring System—an Opportunity for Reducing the Health Risk Associated with Physical Activity in Polluted Air”. *PeerJ* 8 (październik): e10041. <https://doi.org/10.7717/peerj.10041>.
- Niemiecka Agencja Środowiska (Umweltbundesamt). Oficjalna strona internetowa: Oficjalna. www.umweltbundesamt.de (dostęp 30.03.2023).
- Paraskevas, Giorgos, Ilias Smilios, i Marios Hadjicharalambous. 2020. „Effect of Opposition Quality and Match Location on the Positional Demands of the 4-2-3-1 Formation in Elite Soccer”. *Journal of Exercise Science and Fitness* 18 (1): 40–45. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2019.11.001>.
- Petrowski, Katja, Christina Diane Bastianon, Stefan Bühner, i Elmar Brähler. 2019. „Air Quality and Chronic Stress: A Representative Study of Air Pollution (PM2.5, PM10) in Germany”. *Journal of Occupational & Environmental Medicine* 61 (2): 144–47. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000001502>.
- Qin, Fei, Yan Yang, Song-tao Wang, Ya-nan Dong, Min-xiao Xu, Zhong-wei Wang, i Jie-xiu Zhao. 2019. „Exercise and Air Pollutants Exposure: A Systematic Review and Meta-Analysis”. *Life Sciences* 218 (lut): 153–64. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2018.12.036>.
- Reche, Cristina, Mar Viana, Barend L. van Drooge, Francisco Javier Fernández, Miguel Escribano, Gemma Castaño-Vinyals, Mark Nieuwenhuijsen, Paolo Emilio Adami, i Stéphane Bermon. 2020. „Athletes’ Exposure to Air Pollution during World Athletics Relays: A Pilot Study”. *Science of The Total Environment* 717 (maj): 137161. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137161>.
- Recht, Lawrence D., Robert A. Lew, i William J. Schwartz. 1995. „Baseball Teams Beaten by Jet Lag”. *Nature* 377 (6550): 583–583. <https://doi.org/10.1038/377583a0>.
- Reinberg, A. E., i M. H. Smolensky. 1992. „Night and Shift Work and Transmeridian and Space Flights”. W *Biologic Rhythms in Clinical and Laboratory Medicine*, zredagowane przez

- Yvan Touitou i Erhard Haus, 243–55. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-78734-8_18.
- Richmond, L, B Dawson, D.R. Hillman, i P.R. Eastwood. 2004. „The Effect of Interstate Travel on Sleep Patterns of Elite Australian Rules Footballers”. *Journal of Science and Medicine in Sport* 7 (2): 186–96. [https://doi.org/10.1016/S1440-2440\(04\)80008-2](https://doi.org/10.1016/S1440-2440(04)80008-2).
- Rumpf, Michael C., Joao R. Silva, Maxime Hertzog, Abdulaziz Farooq, i George Nassis. 2017. „Technical and Physical Analysis of the 2014 FIFA World Cup Brazil: Winners vs. Losers”. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 57 (10): 1338–43. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.16.06440-9>.
- Rundell, Kenneth W., Sandra D. Anderson, Malcolm Sue-Chu, Valerie Bougault, i Louis-Philippe Boulet. 2015. „Air Quality and Temperature Effects on Exercise-Induced Bronchoconstriction”. *Comprehensive Physiology* 5 (2): 579–610. <https://doi.org/10.1002/cphy.c130013>.
- Rundell, Kenneth W., Josh B. Slee, Renee Caviston, i Amanda M. Hollenbach. 2008. „Decreased Lung Function after Inhalation of Ultrafine and Fine Particulate Matter during Exercise Is Related to Decreased Total Nitrate in Exhaled Breath Condensate”. *Inhalation Toxicology* 20 (1): 1–9. <https://doi.org/10.1080/08958370701758593>.
- Russell, Mark, William Sparkes, Jonny Northeast, Christian J. Cook, Tom D. Love, Richard M. Bracken, i Liam P. Kilduff. 2016. „Changes in Acceleration and Deceleration Capacity Throughout Professional Soccer Match-Play”. *Journal of Strength and Conditioning Research* 30 (10): 2839–44. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000805>.
- Schraufnagel, Dean E., John R. Balmes, Sara De Matteis, Barbara Hoffman, Woo Jin Kim, Rogelio Perez-Padilla, Mary Rice, Akshay Sood, Aneesa Vanker, i Donald J. Wuebbles. 2019. „Health Benefits of Air Pollution Reduction”. *Annals of the American Thoracic Society* 16 (12): 1478–87. <https://doi.org/10.1513/AnnalsATS.201907-538CME>.
- Shafizadeh, Mohsen, Marc Taylor, i Carlos Lago Peñas. 2013. „Performance Consistency of International Soccer Teams in Euro 2012: A Time Series Analysis”. *Journal of Human Kinetics* 38: 213–26. <https://doi.org/10.2478/hukin-2013-0061>.
- Slama, Alessandro, Andrzej Śliwczyński, Jolanta Woźnica-Pyzikiewicz, Maciej Zdrolik, Bartłomiej Wiśnicki, Jakub Kubajek, Olga Turzańska-Wieczorek, Marcin Studnicki, Waldemar Wierzba, i Edward Franek. 2020. „The Short-Term Effects of Air Pollution on Respiratory Disease Hospitalizations in 5 Cities in Poland: Comparison of Time-Series and Case-Crossover Analyses”. *Environmental Science and Pollution Research* 27 (19): 24582–90. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08542-5>.
- Steenland, K., i J. A. Deddens. 1997. „Effect of Travel and Rest on Performance of Professional Basketball Players”. *Sleep* 20 (5): 366–69.
- Strak, Maciej, Hanna Boogaard, Kees Meliefste, Marieke Oldenwening, Moniek Zuurbier, Bert Brunekreef, i Gerard Hoek. 2010. „Respiratory Health Effects of Ultrafine and Fine Particle Exposure in Cyclists”. *Occupational and Environmental Medicine* 67 (2): 118–24. <https://doi.org/10.1136/oem.2009.046847>.
- Tainio, Marko, Zorana Jovanovic Andersen, Mark J. Nieuwenhuijsen, Liang Hu, Audrey de Nazelle, Ruopeng An, Leandro M.T. Garcia, i in. 2021. „Air Pollution, Physical Activity and Health: A Mapping Review of the Evidence”. *Environment International* 147 (luty): 105954. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105954>.
- Takahashi, Masaya, Akinori Nakata, i Heihachiro Arito. 2002. „Disturbed sleep-wake patterns during and after short-term international travel among academics attending conferences”. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 75 (6): 435–40. <https://doi.org/10.1007/s00420-002-0324-6>.
- Teixeira, José E., Miguel Leal, Ricardo Ferraz, Joana Ribeiro, José M. Cachada, Tiago M. Barbosa, António M. Monteiro, i Pedro Forte. 2021. „Effects of Match Location, Quality of Opposition and Match Outcome on Match Running Performance in a Portuguese Professional Football Team”. *Entropy* 23 (8): 973. <https://doi.org/10.3390/e23080973>.

- Tian, Linwei, i Shengzhi Sun. 2017. „Comparison of Health Impact of Air Pollution Between China and Other Countries”. *Advances in Experimental Medicine and Biology* 1017: 215–32. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5657-4_9.
- Traczyk, Paulina, i Agnieszka Gruszecka-Kosowska. 2020. „The Condition of Air Pollution in Kraków, Poland, in 2005–2020, with Health Risk Assessment”. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17 (17): 6063. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176063>.
- Wasserman, K.; Hansen, J.; Sietsema, K.; Sue, D.; Stringer, W.W.; Whipp, B. Principles of Exercise Testing and Interpretation: Including Pathophysiology and Clinical Applications; Lippincott Williams & Wilkins: Philadelphia, PA, USA, 2011
- Wieczorek, Joanna, Krzysztof Błażejczyk, i Takeshi Morita. 2016. „Changes in Melatonin Secretion in Tourists after Rapid Movement to Another Lighting Zone without Transition of Time Zone”. *Chronobiology International* 33 (2): 220–33. <https://doi.org/10.3109/07420528.2015.1130050>.
- Zacharko, Michał, Robert Cichowicz, Marcin Andrzejewski, Paweł Chmura, Edward Kowalczyk, Jan Chmura, i Marek Konefał. 2021. „Air Pollutants Reduce the Physical Activity of Professional Soccer Players”. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18 (24): 12928. <https://doi.org/10.3390/ijerph182412928>.
- Zacharko, Michał, Robert Cichowicz, Adam Depta, Paweł Chmura, i Marek Konefał. 2022. „High Levels of PM10 Reduce the Physical Activity of Professional Soccer Players”. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 20 (1): 692. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010692>.
- Zacharko, Michał, Marek Konefał, Łukasz Radzimiński, Paweł Chmura, Krzysztof Błażejczyk, Jan Chmura, i Marcin Andrzejewski. 2022. „Direction of Travel of Time Zones Crossed and Results Achieved by Soccer Players. The Road from the 2018 FIFA World Cup to UEFA EURO 2020”. *Research in Sports Medicine* 30 (2): 145–55. <https://doi.org/10.1080/15438627.2020.1853545>.
- Zaric, Nikola, Velibor Spalevic, Nikola Bulatovic, Nikola Pavlicevic, i Branislav Dudic. 2021. „Measurement of Air Pollution Parameters in Montenegro Using the Ecomar System”. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18 (12): 6565. <https://doi.org/10.3390/ijerph18126565>.
- Zhang, Hui, i Junxian Jiang. 2022. „Evaluation of the Playing Time Benefits of Foreign Players in the Big-5 European Football Leagues”. *Journal of Human Kinetics* 84 (październik): 238–49. <https://doi.org/10.2478/hukin-2022-000072>.
- Żołądź, Jerzy A., Zbigniew Szkutnik, i Bruno Grassi. 2019. „Metabolic Transitions and Muscle Metabolic Stability: Effects of Exercise Training”. W *Muscle and Exercise Physiology*, 391–422. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814593-7.00018-9>.

IX. Załączniki

1. Artykuł nr 1 wchodzący w skład przedstawionego osiągnięcia naukowego pt.
Direction of travel of time zones crossed and results achieved by soccer players. The road from the 2018 FIFA World Cup to UEFA EURO 2020.
2. Artykuł nr 2 wchodzący w skład przedstawionego osiągnięcia naukowego pt.
Air Pollutants Reduce the Physical Activity of Professional Soccer Players.
3. Artykuł nr 3 wchodzący w skład przedstawionego osiągnięcia naukowego pt.
High Levels of PM10 Reduce the Physical Activity of Professional Soccer Players.
4. Oświadczenie współautorów prac (prof. dr hab. Jana Chmury, prof. dr hab. Krzysztofa Błażejczyka, dr hab. Marka Konefała, dr hab. Pawła Chmury, dr hab. Roberta Cichowicza, dr hab. Marcina Andrzejewskiego, dr Łukasza Radziwińskiego, dr Adama Depty, trenera Edwarda Kowalczuka).

Załącznik nr 1

Zacharko M., Konefał M., Radzimiński Ł., Chmura P., Błażejczyk K., Chmura J., & Andrzejewski M. (2022). Direction of travel of time zones crossed and results achieved by soccer players. The road from the 2018 FIFA World Cup to UEFA EURO 2020. *Research in Sports Medicine*, 30(2):145-155.



Research in Sports Medicine
An International Journal



ISSN: (Print) (Online) Journal homepage: <https://www.tandfonline.com/loi/gspm20>

Direction of travel of time zones crossed and results achieved by soccer players. The road from the 2018 FIFA World Cup to UEFA EURO 2020

Michał Zacharko , Marek Konefał , Łukasz Radzimiński , Paweł Chmura , Krzysztof Błażejczyk , Jan Chmura & Marcin Andrzejewski

To cite this article: Michał Zacharko , Marek Konefał , Łukasz Radzimiński , Paweł Chmura , Krzysztof Błażejczyk , Jan Chmura & Marcin Andrzejewski (2020): Direction of travel of time zones crossed and results achieved by soccer players. The road from the 2018 FIFA World Cup to UEFA EURO 2020, *Research in Sports Medicine*, DOI: [10.1080/15438627.2020.1853545](https://doi.org/10.1080/15438627.2020.1853545)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/15438627.2020.1853545>



Published online: 29 Nov 2020.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 71



View related articles [↗](#)



View Crossmark data [↗](#)

Full Terms & Conditions of access and use can be found at
<https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=gspm20>



Direction of travel of time zones crossed and results achieved by soccer players. The road from the 2018 FIFA World Cup to UEFA EURO 2020

Michał Zacharko ^a, Marek Konefal ^a, Łukasz Radziński ^b, Paweł Chmura ^c, Krzysztof Błażejczyk ^d, Jan Chmura ^a and Marcin Andrzejewski ^e

^aDepartment of Biological and Motor Sport Bases, University School of Physical Education, Wrocław, Poland; ^bDepartment of Biomedical Health Basics, Gdansk University of Physical Education and Sport, Gdańsk, Poland; ^cDepartment of Team Games, University School of Physical Education, Wrocław, Poland; ^dInstitute of Geography and Spatial Organization, Polish Academy of Sciences, Warszawa, Poland; ^eDepartment Methodology of Recreation, Poznan University of Physical Education, Poznań, Poland

ABSTRACT

The study detailed here has sought to assess the physical and technical activity engaged in by football players in the light of the direction of travel in which time zones were crossed as players transferred from training centres to match venues, in the context of matches played at the 2018 FIFA World Cup in Russia. The material consisted of 945 observations of 340 players. Analysed: total distances covered [km], distances covered with high-intensity running (20–25 km/h) [m], numbers of sprints, numbers of shots, numbers of passes, pass accuracy [%] and the official ranking of national teams. Three categories of time-zone shift (training centre → match venue) were taken account of, i.e. (1) West→East (WE), (2) Same Zone (SZ) and (3) East→West (EW). Analysis of results revealed that players in the EW and SZ categories were able to achieve results significantly better than those moving WE (total distances covered $H = 11.815(2)$; $p = 0.003$; numbers of passes $H = 7.630(2)$; $p = 0.022$), and this in relation to team placings in the end-of-tournament ranking ($H = 18.099(2)$; $p = 0.001$). The results will be valuable in searching places for training centres during future FIFA World Cup and UEFA European Championship competitions.

ARTICLE HISTORY

Received 28 May 2020
Accepted 9 September 2020

KEYWORDS

Football; physical activity; distances covered; high intensity; sprints; passes

Introduction

Among the many situational factors influencing the game of football, there is match location (Almeida et al., 2014), quality of opposition (Taylor et al., 2008), match outcome (Konefal et al., 2018) and climatic conditions (Chapelle et al., 2019). A further factor that will also be visible in the context of the 2020 (now 2021) UEFA European Football Championship is that relating to time zones. If the contest goes according to plan, it will be run in 12 countries and four such time zones: from the United Kingdom (GMT time zone) across to Azerbaijan (GMT+4). It will surely therefore be worthwhile paying

CONTACT Marek Konefal  marek.konefal@awf.wroc.pl  University School of Physical Education, Wrocław 51-612, Poland

© 2020 Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group

attention to the relationship between soccer and time zones. Elite athletes travel across a number of time zones and often compete in an environment differing from the training centre in both geographical and climatic terms. Prolonged periods of travel induce fatigue and a certain malaise in the aftermath (Brown et al., 2001), and in some degree, this is due to the desynchronization of circadian rhythms otherwise termed “jet lag” (Reinberg & Smolensky, 1994). This syndrome tends to be present where at least three time zones are crossed (Kölling et al., 2017). Having crossed time zones, a human being adjusts slowly but surely to a new circadian rhythm. Approximately one (further) day of adjustment is needed for each hour of time-zone change, but this is *inter alia* influenced by time spent in confined space with limited opportunities for movement (Brown et al., 2001).

Rapid changes of time zone disturb circadian rhythm manifested by changes in melatonin secretion (Wieczorek et al., 2016). The circadian disruption, determined by jet-lag complaints is greater in older travellers (Kim & Duffy, 2019), differentiated in groups, and dependent on the purpose of travel (Niculescu et al., 2012). Consequences may include poor sleep, tiredness during the day and impaired efficiency (Takahashi et al., 2002). However, symptoms always need to be looked for at the level of the individual, given the way people differ and the dependence on the number of time zones crossed, the duration of the flight involved and even the direction of travel. Like jet lag, sleep disturbance is worse where the direction of flight is eastward as opposed to westward (Fowler et al., 2017). Efforts to find evidence of the above impacts in sport include those of Lemmer et al. (2002), who confirmed impaired training efficiency among athletes who had crossed several time zones – even several days on from arrival. Likewise, sporting professionals heading westwards across time zones were found to have changed physical-activity profiles (Reilly et al., 2001). According to Vitale et al. (2019), physical effects of jet lag include impaired running performance, a decreased muscle-glycogen concentration and reduced submaximal strength, isokinetic peak torque, minute ventilation, distance covered, sprint times, soccer kicking skills, and time to exhaustion. Furthermore, cognitive effects have been found to include decreased psychomotor functions, disturbed mood and vigour (a subjective feeling of energy and enthusiasm), increased reaction time, and confusion (Vitale et al., 2019).

The overriding aim of each national team participating in the World Cup is to achieve the best possible placing at the end of the tournament (Konefal et al., 2020; Luhtanen et al., 2001). Today’s game of soccer is such that even a minimal advantage over the opponent in terms of physical or technical activity can exert an influence on the outcome (Konefal et al., 2019a). Physical activities correlated to a significant degree with match result include total distances covered, distances covered at high intensity and numbers of sprints. And, while high-intensity efforts (fast running and sprinting) and accelerations account for only 10–15% of the overall distances players cover during a match (Andrzejewski et al., 2016; Konefal et al., 2019b; Russell et al., 2016), Modric et al. (2019), Andrzejewski et al. (2018), and Chmura et al. (2018) are of the view that these are one of the most important measures of physical efficiency in football. Work by Chmura et al. (2017) likewise makes it clear that, in the 2014 World Cup context, the German team (as ultimate champions) covered a significantly greater overall distance, as well as a greater distance at high intensity, than other participating teams. In turn, important technical activity is found to relate to total numbers of attempted and effective shots at goal (Lago-Penas et al., 2010), as well as numbers of

passes made in general and numbers proving effective (Liu et al., 2015). Earlier research from the World Cup competitions of 2002, 2006, 2010, and 2014 likewise showed that teams that went on to win a match took a greater number of both shots at goal overall and effective shots at goal, number of passes and pass accuracy (Liu et al., 2015).

A change of time zone may have a significant impact on levels of activity among even the highest-rank players, and hence also on match results. The literature includes references to this issue in the context of players of American football (Jehue et al., 1993; Worthen & Wade, 1999), baseball (Recht et al., 1995) and Australian-rules football (Rowbottom & Pickering, 2000). However, to the best of our knowledge, research has only once considered the problem of crossed time zones in relation to soccer players. Thus, Goumas (2014) found that the advantage enjoyed by home teams increased significantly where opposing teams had consecutively-greater numbers of time zones to cross in order to reach match venues. Goumas (2014) further established that home teams gain 74% of possible points when away teams have to cross 4 time zones to play a match. This issue obviously gains in significance when future World Cup and EURO competitions are concerned, as regulation and custom to the effect that matches take place in many countries ensure that players have little choice but to travel large distances between training centres and match venues.

Consideration of all of the background accounts for the attempt, detailed here, to have the present paper offers a fuller assessment of the physical and technical activity engaged in by football players in the light of the direction of travel involved as players make the crossings of time zones necessitated by transfers from training centres to match venues, in the context of matches played at the 2018 FIFA World Cup in Russia.

Materials and methods

Match sample

The study material consisted of 945 observations of 340 players representing 32 national teams taking part in the 2018 FIFA World Cup in Russia. Given the specific nature of the position, goalkeepers' match data were excluded from the analysis. Players involved were those playing the entire time in all matches of the group and knockout rounds of the tournament (without extra time). No account was therefore taken of substitutes. The mean body height of players included was 182.03 ± 6.90 cm, body mass 77.11 ± 6.99 kg, and age 27.10 ± 3.55 years.

This study maintains the anonymity of players in accordance with relevant law on data protection, is conducted in compliance with the Declaration of Helsinki, and did gain the approval of the local Board of Ethics (No. 19/2017).

Procedures

Perhaps self-evident is the fact that the world has 24 time zones, with each taking in one solar hour and thus having an average width of 15° of longitude (Roenneberg et al., 2019). However, as several time zones have only 30- or 45-minute offsets, the total number

worldwide is far greater. The zero meridian is set at Observatory Hill in Greenwich, east of London, in relation to the so-called Greenwich Mean Time (GMT) (Howse, 1980).

In respect of the FIFA World Cup competition hosted by Russia, the training centres and venues for matches were located across four time zones, i.e. Kaliningrad Time (GMT +2), Moscow Time (GMT+3), Samara Time (GMT+4), and Yekaterinburg Time (GMT+5). With a view to the objectives of the work being achieved (as regards the relationship between the time zones in which training centres were located and matches took place), it was decided to distinguish between:

- West→East movement, WE (represented by 216 match observations – with 150 involving the crossing of a single time zone and 66 the crossing of two), in which the training centre is at least one time zone east of the match venue;
- Same Zone, SZ (represented by 655 match observations), in which the two aforementioned venues are in the same time zone;
- East→West movement, EW (represented by 74 match observations – with 66 involving the crossing of a single time zone and 8 the crossing of two), in which the training centre is at least one time zone further west than the match venue.

Data collection and analyses

Use was made of data from the STATS[®] motion analysis system (Chicago, IL, USA) used to record players' movements during all tournament matches. The system comprises kinematic analysis of players' performance in real time, using a set of video cameras. Every possible type of ball touch and on-the-ball action in a match is covered by a rigid set of definitions recorded in the system. Every action has a player assigned to it, along with a time of occurrence of the given event (Liu et al., 2015). The STATS[®] motion analysis system is confirmed as a reliable research tool by which to track players' movements at top-level soccer tournaments, such as the European Championships and FIFA World Cup (Linke et al., 2018). Di Salvo et al. (2006) conducted a validity and reliability study on the Prozone (now STATS) system (Ramos et al., 2017). Of the four separate tests completed, mean differences and limits of agreement ranged from 0.05 to 0.23 km·h⁻¹ and 0.05 to 0.85 km·h⁻¹ respectively, with the CV ranging from 0.2% to 1.3% (Di Salvo et al., 2006).

Analysis here was based around such variables from the STATS[®] system as total distances covered (TD) [km], distances covered in the context high-intensity running (HIR, 20–25 km/h) [m] and total numbers of sprints (NS, speeds above 25 km/h). Registered technical activity, in turn, entailed shots [S, number] – i.e. attempts to score a goal made using any (legal) part of the body, either on or off target, passes [P, number] – i.e. balls played intentionally from one player to another, and pass accuracy [PA, %] – i.e. successful passes as a proportion of total passes. In addition, the research made reference to final tournament rankings of the national teams (placed between 1 and 32). Relevant match data for these indices were retrieved from the official FIFA website (<https://www.fifa.com/worldcup/matches/>).

Statistical analyses

The Shapiro–Wilk and Levene tests were used. Arithmetic means, medians, standard deviations, and standard errors were calculated (the description of the results here

presents arithmetic means \pm standard deviations to allow for comparison with other studies). Differences between categories were calculated using the Kruskal–Wallis H test. Where a significant effect size was found, a post-hoc Conover–Iman test was performed (Kruskal, 1952; Kruskal & Wallis, 1952). The level of statistical significance was set at $p < 0.05$. Moreover, the Cohen’s d value was calculated, and the effect sizes determined: ≤ 0.35 – small effect size, >0.35 and <0.65 – medium effect size, ≥ 0.65 – large effect size (Cohen, 1988). All statistical analyses were carried out using the *STATISTICA ver. 13.1* software package (StatSoft. Inc., USA).

Results

The statistical analysis of player’s physical and technical activities as set against time-zone ranges (WE, SZ, EW) revealed effects in relation to the final tournament placing of national teams ($H = 18.099(2)$; $p = 0.001$) – Figure 1, TD ($H = 11.815(2)$; $p = 0.003$) and number of passes ($H = 7.630(2)$; $p = 0.022$). In respect of all of these study parameters, worst results related to the WE direction of movement (Table 1).

No significant effect of time-zone ranges was found for HIR ($H = 4.333(2)$; $p = 0.115$), number of sprints ($H = 3.729(2)$; $p = 0.155$), number of shots ($H = 0.230(2)$; $p = 0.891$), and pass accuracy ($H = 4.661(2)$; $p = 0.097$) (Table 1).

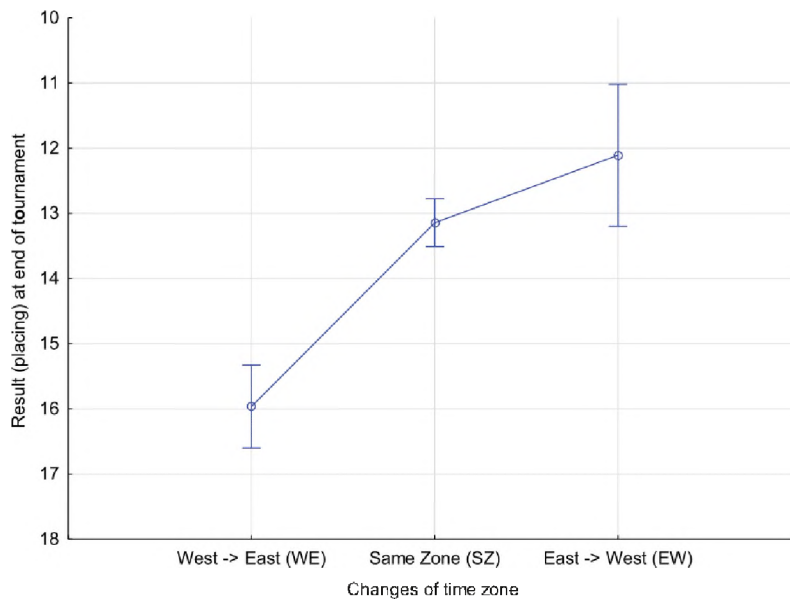


Figure 1. Differences in placings at the end of the tournament in relation to changes of time zone. Differences statistically significant (at $p \leq 0.05$) between WE vs. SZ $p = 0.01$; $d = 0.30$ and WE vs. EW $p = 0.01$; $d = 0.46$ (Source: own elaboration).

Table 1. Differences in physical and technical activity in relation to changes of time zone (mean \pm SD).

Parameters	Time-zone changes (training centre \rightarrow match venue)			Kruskal–Wallis H test (sig)	Statistically significant differences; effect size
	West \rightarrow East (WE)	Same Zone (SZ)	East \rightarrow West (EW)		
TD [km]	9.79 \pm 0.96	10.21 \pm 1.42	10.06 \pm 0.79	11.815 (0.003)	WE<SZ (p = 0.002); d = 0.44
HIR [m]	503.79 \pm 165.75	533.82 \pm 181.10	541.69 \pm 168.62	4.333 (0.115)	-
Sprints [number]	29.87 \pm 10.62	31.78 \pm 11.69	31.99 \pm 11.01	3.729 (0.155)	-
Shots [number]	1.08 \pm 1.36	1.15 \pm 1.45	1.17 \pm 1.44	0.230 (0.891)	-
Passes [number]	42.24 \pm 17.43	45.30 \pm 24.87	51.80 \pm 23.88	7.630 (0.022)	WE<EW (p = 0.027); d = 0.46 SZ<EW (p = 0.024); d = 0.27
Pass Accuracy [%]	83.42 \pm 9.44	82.67 \pm 11.06	85.98 \pm 8.05	4.661 (0.097)	-

TD – total distance covered;

HIR – high-intensity running;

Source: own elaboration.

Discussion

The study described here has sought to assess changes in football players' profiles of physical and technical activity that may be linked to the direction of travel as time zones are crossed in the context of transfers between training centres and match venues. Earlier work on this was undertaken by Rowbottom and Pickering (2000), who were able to establish that Australian Football League teams travelling both east/west (across 1–2 time zones) and north/south (across no time zones) were only able to achieve results significantly worse than at their home games. Other researchers showed that both team and individual-player results are disturbed in the wake of air travel, especially where an easterly direction is involved (Jehue et al., 1993; Recht et al., 1995; Rowbottom & Pickering, 2000; Worthen & Wade, 1999). Our work confirms these kinds of observation, while also showing that, where soccer players participate in a tournament spread across several time zones, the most-favourable outcomes involve East \rightarrow West movement. The teams moving in this direction in the context of a tournament achieve better results in the final rankings than those who move West \rightarrow East. The differences between these directions of movement in terms of end-of-tournament results are seen to be of as many as 4 places in the ranking on average.

Work of this same kind was very popular in the United States, given the four time zones present in the Continental part of that country. Research on North American baseball teams, for example, showed that home teams might anticipate 1.24 runs more than usual, where visiting teams had just completed travel in an easterly direction (Recht et al., 1995). In turn, Worthen and Wade (1999), studying football games in the American National Collegiate Athletic Association context, revealed that a move of at least one time zone to the east was associated with fewer points scored and more points allowed.

Wieczorek et al. (2016) paid attention to the possible impact of day lighting time and day-time activity on sleeping conditions and physical effectiveness as location was shifted from south to north without any change of time zone. Our research shows that, by remaining in the same time zone (category SZ), teams achieve significantly higher final-classification placings (on average by three places) than those needing to transfer

West→East. Though other work of this kind is a great rarity, it can be noted how – as early as in 1993 – Jehue et al. (1993) were in a position to note similar issues in the context of the American National Football League. It emerged there that teams travelling from the West Coast to the Mid-West or the East Coast were characterized by far greater declines in efficiency than was the case for games that were also of “away” status but nevertheless played in the same time zone. Results thus exist to suggest that travel between time zones, and most especially eastward travel of this kind, can have negative effects on the final results teams obtain, as well as physical and technical activity at the level of each individual athlete.

The result (placing) at the end of a tournament is obviously a consequence of the operation of a great many factors, not least the physical-activity players are able to achieve in the course of a match. High-intensity running and accelerations are known to be among the most crucial activities where elite soccer-match performance is concerned (Dellal et al., 2011; Konefał et al., 2019b; Di Salvo et al., 2009), and, as earlier studies have shown clearly, the former is a key parameter underpinning teams’ success (Andrzejewski et al., 2018; Di Salvo et al., 2009). While our work reveals that teams travelling eastwards only produce significantly poorer results for TD, a tendency for HIR and numbers of sprints to look less favourable is also indicated, even if the results do not achieve statistical significance in these cases.

However, match results are also influenced by levels of technical activity (Konefał et al., 2018). It was established at both the 2014 FIFA World Cup Finals and UEFA EURO 2016 that shots are the most significant form of such activity when it comes to winning a match (Konefał et al., 2018; Liu et al., 2015). However, in the context of our research, this particular activity was not found to be affected by players’ directions of travel across time zones. The explanation for this may lie in the smaller numbers of shots taken during Russia World Cup matches (on average about 1 per player per match), as compared with EURO 2016, during which one shot was taken every 7 minutes on average (Konefał et al., 2018). In contrast, very interesting data arising from our work show that the crossing of time zones is linked in a significant way with numbers of passes taken. We found that a significantly greater number of passes were taken by teams whose training centres were in time zones further east than that in which the given match took place. A similar situation seemed to apply with the success associated with passes, though the statistics, in this case, failed to achieve significance. This is obviously valuable information for the staff training national teams, as the total number of passes and pass accuracy are both associated positively with ultimate team performance (Liu et al., 2015).

It is therefore worth considering why the direction of travel across consecutive time zones is so important. An example might concern the time difference between two cities in which Group C matches of EURO 2021 are to be held, i.e. Rome at GMT+1 and Baku at GMT +4, giving a 3-hour difference. A team flying from Baku westwards from 12:00 local time arrives into Rome at just about 12:00 local time. Those heading west find that differences arising out of the change of time zones are to some degree cancelled by the travel time. In contrast, those flying east from Rome to Baku find the difference in time zones adding on to the travel time, such that a team departing at 12:00 local time reach the destination around 18:00 local time the other end. This is then a 6-hour difference, which will certainly be of major significance from the circadian rhythm point of view, and hence in regard to fatigue among players, and their possibly limited efficiency (Fullagar et al., 2016). Previous research

presented certain solutions that could reduce the negative influence of prolonged travel across quite a few time zones. Samuels (2012) suggested that a reduction in the volume and intensity of pre-flight training sessions may help with adaptation following arrival at the destination. Moreover, pharmacological interventions involving melatonin (Herxheimer & Petrie, 2002) and caffeine (Schweitzer et al., 2006) have been shown to be effective in helping people recover a proper circadian rhythm.

The authors are fully aware of the many factors that might have influenced the results of the analyses presented here. This leaves as a limitation of the present study the lack of consideration given to a larger number of context variables, not least the precise time of arrival of a given team at the match venue, as well as the exact amount of time elapsing between matches. A further limitation concerns the failure to take account of many other parameters helping to characterize external load, such as player load, acceleration, and deceleration, which all also serve to express the demands imposed by matches in non-cyclic team sports. Finally, future studies should also encompass environmental conditions, team tactics, and the ages and levels of experience of players. All of these factors might be included as future research is planned, with the aid of more advanced statistical methods such as ANCOVA or logistic regression analysis. Use might also be made of an alternative approach based around paired observations, with account thus taken of the same player appearing in matches that follow on from travel across time zones in different directions.

Conclusion

Our research is the first to document a significant relationship pertaining to soccer-players' directions of travel across time zones. Such shifts that footballers will need to make ought to be considered as training centres are selected, and other plans made, for upcoming FIFA World Cup and UEFA European Championship competitions. Other than in the largest host countries, this would typically be an issue where different matches during a competition take place in several different countries, with players therefore forced to move over larger distances. The circumstances in which players either remain in the same time zone or move in an east-west direction are seen to be most favourable when it comes to both greater amounts of player physical activity (total distances covered) and technical activity (numbers of passes); as well as higher final placings in tournaments.

Practical application

The results obtained in the context of the work detailed here do offer practical information capable of being used effectively in planning phases, and as teams are being made ready to participate in Championship-rank football tournaments. In today's game of football, it is often the fine details that shape ultimate success or failure. As our research makes clear, the choice of a training centre located in a time zone to the east of a match venue is a significantly favourable factor, to the extent that training staff ought actually to resort to such a solution. Furthermore, this approach assumes particular importance given future foreseen tournaments in which the covering of large distances will prove essential. A good example here might be FIFA's 2026 World Cup competition, which is to be held jointly by the USA, Canada, and Mexico.

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the authors.

ORCID

Michał Zacharko  <http://orcid.org/0000-0003-3298-3120>
 Marek Konefał  <http://orcid.org/0000-0002-0918-1683>
 Łukasz Radzimiński  <http://orcid.org/0000-0002-9802-3731>
 Paweł Chmura  <http://orcid.org/0000-0002-4211-0393>
 Krzysztof Błażejczyk  <http://orcid.org/0000-0002-0439-6642>
 Jan Chmura  <http://orcid.org/0000-0002-9153-7983>
 Marcin Andrzejewski  <http://orcid.org/0000-0002-5127-711X>

References

- Almeida, C. H., Ferreira, A. P., & Volossovitch, A. (2014). Effects of match location, match status and quality of opposition on regaining possession in UEFA Champions League. *Journal of Human Kinetics*, 41(1), 203–214. <https://doi.org/10.2478/hukin-2014-0048>
- Andrzejewski, M., Chmura, P., Konefał, M., Kowalczyk, E., & Chmura, J. (2018). Match outcome and sprinting activities in match play by elite German soccer players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 58(6), 785–792. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.17.07352-2>
- Andrzejewski, M., Konefał, M., Chmura, P., Kowalczyk, E., & Chmura, J. (2016). Match outcome and distances covered at various speeds in match play by elite German soccer players. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 16(3), 817–828. <https://doi.org/10.1080/24748668.2016.11868930>
- Brown, T., Shuker, L., Rushton, L., Warren, F., & Stevens, J. (2001). The possible effects on health, comfort and safety of aircraft cabin environments. *The Journal of the Royal Society for the Promotion of Health*, 121(3), 177–184. <https://doi.org/10.1177/146642400112100315>
- Chapelle, L., Tassignon, B., Rommers, N., Mertens, E., Mullie, P., & Clarys, P. (2019). Pre-exercise hypohydration prevalence in soccer players: A quantitative systematic review. *European Journal of Sport Science*, 20(6), 1–12. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1669716>
- Chmura, P., Andrzejewski, M., Konefał, M., Mroczek, D., Rokita, A., & Chmura, J. (2017). Analysis of motor activities of professional soccer players during the 2014 World Cup in Brazil. *Journal of Human Kinetics*, 56(1), 187–19. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0036>
- Chmura, P., Konefał, M., Chmura, J., Kowalczyk, E., Zając, T., Rokita, A., & Andrzejewski, M. (2018). Match outcome and running performance in different intensity ranges among elite soccer players. *Biology of Sport*, 35(2), 197–203. <https://doi.org/10.5114/biolSport.2018.74196>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral Sciences*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Dellal, A., Chamari, K., Wong, D. P., Ahmaidi, S., Keller, D., Barros, R., Bisciotti, G. N., & Carling, C. (2011). Comparison of physical and technical performance in European soccer match-play: FA Premier League and La Liga. *European Journal of Sport Science*, 11(1), 51–59. <https://doi.org/10.1080/17461391.2010.481334>
- Di Salvo, V., Collins, A., McNeill, B., & Cardinale, M. (2006). Validation of Prozone[®]: A new video-based performance analysis system. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 6(1), 108–119. <https://doi.org/10.1080/24748668.2006.11868359>
- Di Salvo, V., Gregson, W., Atkinson, G., Tordoff, P., & Drust, B. (2009). Analysis of high intensity activity in Premier League soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 30(3), 205–212. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1105950>
- Fowler, P. M., Knez, W., Crowcroft, S., Mendham, A. E., Miller, J., Sargent, C. H., Halson, S., & Duffield, R. (2017). Greater effect of East versus West travel on jet lag, sleep, and team sport performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 49(12), 2548–2561. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001374>

- Fullagar, H. H., Duffield, R., Skorski, S., White, D., Bloomfield, J., Kölling, S., & Meyer, T. (2016). Sleep, travel, and recovery responses of national footballers during and after long-haul international air travel. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(1), 86–95. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2015-0012>
- Goumas, C. (2014). Home advantage in Australian soccer. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17(1), 119–123. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.02.014>
- Herxheimer, A., & Petrie, K. J. (2002). Melatonin for the prevention and treatment of jet lag. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2, CD001520. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD001520>
- Howse, D. (1980). *Greenwich Time and the Discovery of the Longitude*. Oxford University Press.
- Jehue, R., Street, D., & Huizenga, R. (1993). Effect of time zone and game time changes on team performance: National Football League. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25(1), 127–131. <https://doi.org/10.1249/00005768-199301000-00017>
- Kim, J. H., & Duffy, J. F. (2019). Circadian rhythm sleep-wake disorders in older adults. *Sleep Medicine Clinics*, 13(1), 39–50. <https://doi.org/10.1016/j.jsmc.2017.09.004>
- Kölling, S., Treff, G., Winkert, K., Ferrauti, A., Meyer, T., Pfeiffer, M., & Kellmann, M. (2017). The effect of westward travel across five time zones on sleep and subjective jet-lag ratings in athletes before and during the 2015's World Rowing Junior Championships. *Journal of Sports Sciences*, 35(22), 1–9. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1265141>
- Konefal, M., Chmura, P., Kowalczyk, E., Figueiredo, A. J., Sarmiento, H., Rokita, A., Chmura, J., & Andrzejewski, M. (2019a). Modeling of relationships between physical and technical activities and match outcome in elite German soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 59(5), 752–759. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.18.08506-7>
- Konefal, M., Chmura, P., Zacharko, M., Baranowski, J., Andrzejewski, M., Błażejczyk, K., & Chmura, J. (2020). The influence of thermal stress on the physical and technical activities of soccer players – Lesson from the Russia 2018 World Cup. *International Journal of Biometeorology*. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01964-3>
- Konefal, M., Chmura, P., Zacharko, M., Chmura, J., Rokita, A., & Andrzejewski, M. (2018). Match outcome vs match status and frequency of selected technical activities of soccer players during UEFA Euro 2016. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 18(4), 568–581. <https://doi.org/10.1080/24748668.2018.1501991>
- Konefal, M., Chmura, P., Zając, T., Chmura, J., Kowalczyk, E., & Andrzejewski, M. (2019b). A new approach to the analysis of pitch-positions in professional soccer. *Journal of Human Kinetics*, 66(1), 143–153. <https://doi.org/10.2478/hukin-2018-0067>
- Kruskal, W. H. (1952). A nonparametric test for the several sample problem. *Annals of Mathematical Statistics*, 23(4), 525–540. <https://doi.org/10.1214/aoms/1177729332>
- Kruskal, W. H., & Wallis, W. A. (1952). Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 47(260), 583–621. <https://doi.org/10.1080/01621459.1952.10483441>
- Lago-Penas, C., Lago-Ballesteros, J., Dellal, A., & Gomez, M. (2010). Game-related statistics that discriminated winning, drawing and losing teams from the Spanish soccer league. *Journal of Sports Science & Medicine*, 9(2), 288–293.
- Lemmer, B., Kern, R. I., Nold, G., & Lohre, H. (2002). Jet lag in athletes after eastward and westward time-zone transition. *Chronobiology International*, 19(4), 743–764. <https://doi.org/10.1081/CBI-120005391>
- Linke, D., Link, D., & Lames, M. (2018). Validation of electronic performance and tracking systems EPTS under field conditions. *PLoS One*, 13(7), e0199519. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199519>
- Liu, H., Gomez, M. A., Lago-Penas, C., & Sampaio, J. (2015). Match statistics related to winning in the group stage of 2014 Brazil FIFA World Cup. *Journal of Sports Sciences*, 33(12), 1205–1213. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1022578>
- Luhtanen, P., Belinskij, A., Häyrinen, M., & Vänttinen, T. (2001). A comparative tournament analysis between the EURO 1996 and 2000 in soccer. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 1(1), 74–82. <https://doi.org/10.1080/24748668.2001.11868250>

- Modric, T., Versic, S., Sekulic, D., & Liposek, S. (2019). Analysis of the Association between running performance and game performance indicators in professional soccer players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(20), 4032. <https://doi.org/10.3390/ijerph16204032>
- Niculescu, I., Hristea, A., Arama, V., Olaru, I., & Jipa, R. (2012). The impact of jet-lag on Romanian travelers and its prevention, therapeutics. *Pharmacology and Clinical Toxicology*, XVI (3), 210–214.
- Ramos, J., Lopes, R. J., Marques, P., & Araújo, D. (2017). Hypernetworks reveal compound variables that capture cooperative and competitive interactions in a soccer match. *Frontiers in Psychology*, 8, 1379. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01379>
- Recht, L. D., Lew, R. A., & Schwartz, W. J. (1995). Baseball teams beaten by jet lag. *Nature*, 377(6550), 583. <https://doi.org/10.1038/377583a0>
- Reilly, T., Atkinson, G., & Budgett, R. (2001). Effect of low-dose temazepam on physiological variables and performance tests following a westerly flight across five time zones. *International Journal of Sports Medicine*, 22(3), 166–174. <https://doi.org/10.1055/s-2001-16379>
- Reinberg, A. E., & Smolensky, M. H. (1994). Night and shift work and transmeridian and space flights. In *Biologic rhythms in clinical and laboratory medicine* (pp. 243–255). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-642-78734-8_18
- Roenneberg, T., Winnebeck, E. C., & Klerman, E. B. (2019). Daylight saving time and artificial time zones – A battle between biological and social times. *Frontiers in Physiology*, 10, 944. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00944>
- Rowbottom, D. G., & Pickering, D. M. (2000, September 7–12). The effects of travel on team performance in the Australian Football League. In *2000 Pre-Olympic Congress. International Congress on Sport Science, Sports Medicine and Physical Education*. Brisbane, Australia.
- Russell, M., Sparkes, W., Northeast, J., Cook, C., Love, T., Bracken, R., & Kilduff, L. (2016). Changes in acceleration and deceleration capacity throughout professional soccer match-play. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(10), 2839–2844. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000805>
- Samuels, C. H. (2012). Jet lag and travel fatigue: A comprehensive management plan for sport medicine physicians and high-performance support teams. *Clinical Journal of Sports Medicine*, 22 (3), 265–273. <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e31824d2eeb>
- Schweitzer, P. K., Randazzo, A. C., Stone, K., Erman, M., & Walsh, J. K. (2006). Laboratory and field studies of naps and caffeine as practical countermeasures for sleep-wake problems associated with night work. *Sleep*, 29(1), 39–50. <https://doi.org/10.1093/sleep/29.1.39>
- Takahashi, M., Nakata, A., & Arito, H. (2002). Disturbed sleep-wake patterns during and after short-term international travel among academics attending conferences. *International Archives of Occupational Environmental Health*, 75(6), 435–440. <https://doi.org/10.1007/s00420-002-0324-6>
- Taylor, J. B., Mellalieu, S. D., James, N., & Shearer, D. A. (2008). The influence of match location, quality of opposition, and match status on technical performance in professional association football. *Journal of Sport Sciences*, 26(9), 885–895. <https://doi.org/10.1080/02640410701836887>
- Vitale, C. K., Owens, R., Hopkins, S. R., & Malhotra, A. (2019). Sleep hygiene for optimizing recovery in athletes: Review and recommendations. *International Journal of Sports Medicine*, 40(8), 535–543. <https://doi.org/10.1055/a-0905-3103>
- Wieczorek, J., Błażejczyk, K., & Morita, T. (2016). Changes in melatonin secretion in tourists after rapid movement to another lighting zone without transition of time zone. *Chronobiology International*, 33(2), 220–233. <https://doi.org/10.3109/07420528.2015.1130050>
- Worthen, J. B., & Wade, C. E. (1999). Direction of travel and visiting team athletic performance: Support for a circadian dysrhythmia hypothesis. *Journal of Sport Behavior*, 22(2), 279–287.

Zacharko, M., Cichowicz, R., Andrzejewski, M., Chmura, P., Kowalczyk, E., Chmura, J., & Konefał, M. (2021). Air Pollutants Reduce the Physical Activity of Professional Soccer Players. *International journal of environmental research and public health*, 18(24), 12928.



Article

Air Pollutants Reduce the Physical Activity of Professional Soccer Players

Michał Zacharko ^{1,*}, Robert Cichowicz ², Marcin Andrzejewski ³, Paweł Chmura ¹, Edward Kowalczyk ⁴, Jan Chmura ¹ and Marek Konefał ¹

- ¹ Department of Biological and Motor Sport Bases, University School of Physical Education, 51-612 Wrocław, Poland; pawel.chmura@awf.wroc.pl (P.C.); jan.chmura@awf.wroc.pl (J.C.); marek.konefal@awf.wroc.pl (M.K.)
- ² Faculty of Architecture, Civil and Environmental Engineering, Lodz University of Technology, 90-924 Lodz, Poland; robert.cichowicz@p.lodz.pl
- ³ Department of Recreation, Poznan University of Physical Education, 61-871 Poznan, Poland; andrzejewski@awf.poznan.pl
- ⁴ Football Club Hannover 96, 30169 Hannover, Germany; edward.kowalczyk@hannover96.de
- * Correspondence: michal.zacharko@awf.wroc.pl



Citation: Zacharko, M.; Cichowicz, R.; Andrzejewski, M.; Chmura, P.; Kowalczyk, E.; Chmura, J.; Konefał, M. Air Pollutants Reduce the Physical Activity of Professional Soccer Players. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 12928. <https://doi.org/10.3390/ijerph182412928>

Academic Editors: Yu-Hsiang Cheng, Elisabete Carolina and Chi-Chi Lin

Received: 15 November 2021

Accepted: 6 December 2021

Published: 8 December 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: The aim of the study was to determine the impact of air quality—analyzed on the basis of the model of integrating three types of air pollutants (ozone, O₃; particulate matter, PM; nitrogen dioxide, NO₂)—on the physical activity of soccer players. Study material consisted of 8927 individual match observations of 461 players competing in the German Bundesliga during the 2017/2018 and 2018/2019 domestic seasons. The measured indices included players' physical activities: total distance (TD) and high-intensity effort (HIE). Statistical analysis showed that with increasing levels of air pollution, both TD ($F = 13.900(3); p = 0.001$) and HIE ($F = 8.060(3); p = 0.001$) decrease significantly. The worsening of just one parameter of air pollution results in a significant reduction in performance. This is important information as air pollution is currently a considerable problem for many countries. Improving air quality during training sessions and sports competitions will result in better well-being and sporting performance of athletes and will also help protect athletes from negative health effects caused by air pollution.

Keywords: football; Bundesliga; distances covered; high intensity; O₃; PM; NO₂; air quality

1. Introduction

As Reche et al. [1] and Fitch [2] indicate inhalation of high concentrations of air pollutants can cause more harm to athletes who undertake intensive training than to the general public. Athletes are especially vulnerable, as their air intake is higher, and many train and compete outdoors for large portions of the day [1]. During intense exercise, athletes can breathe more than 6000 L/h compared with perhaps 4–500 L/h at rest and 1000 L/h with light exercise [2]. It is caused, among other things, by increased lung ventilation during exercise [3]. Inhaling more air through the mouth during exercise causes a bypassing of the nasal filtration mechanisms. Increased air flow velocity transports pollutants deep into the respiratory tract and thus increases the uptake of gaseous pollutants [4], and thus, the concentration levels of individual pollutants in the human body also increase. Despite the studies cited above, there is a scarcity of research on the physical activity of professional athletes in a potentially polluted environment [5] and in particular on soccer players [6].

It is worth noting that the number and frequency of professional football matches played is high. Modern competitive schedules are very demanding, with teams having to play up to 60 matches per season [7]. Each match requires players to be very physically active, which is defined, among other things, by total distance covered (TD) and high-intensity effort (HIE). The average TD in a Bundesliga match ranges from 10.03 ± 0.61 to

11.55 ± 0.70 km, and the number of HIE from 30.33 ± 7.64 to 47.48 ± 12.30 depending on the position on the field [8]. The above parameters are very important because they significantly correlate with match outcome. For example, Andrzejewski et al. [9] found that winning a match correlates with the players of the winning team covering a greater total distance. Elsewhere, both Modric et al. [10] and Chmura et al. [11] are of the view that high-intensity efforts (fast running and sprinting) are some of the most important measures of physical efficiency in football.

As a result of extensive physical activities that soccer players undertake during a match, there is a high probability of physiological changes, one of which may be the appearance of oxidative stress in the respiratory tract. This is the major pathophysiological factor in adverse vascular health effects of air pollution. The presence of oxidative stress in the lungs has also been documented and almost certainly occurs with immediate exposure [12]. Furthermore, oxidative stress increases lipid peroxidation, generation of secondary mediators that enhance oxidative stress-induced damage, and a reduction in levels of the primary lung antioxidant, glutathione [13]. Depletion of low molecular weight antioxidants, such as glutathione, ascorbate, and tocopherol, along with subsequent reductions of cofactors, such as NADPH, may increase the risk and impact of oxidative stress [14]. It should also be highlighted that in previous research markers of airway inflammation [15] and oxidative stress [16,17] have been detected after exposure to PM and to O₃. Indeed, PM exposure can directly lead to the expression of particles that cause airway wall fibrosis and play a major role in airway obstruction.

The problem of air quality has been noted by the World Health Organization (WHO), which estimated that, in 2012, about 7 million deaths were associated with living in the areas with polluted air. This is a global problem that affects many countries around the world [18–20]. Elevated and/or exceeded levels of air pollutants in certain periods and locations also apply to European countries considered highly developed in terms of their economy and industry. In Germany most urban areas still do not meet WHO air quality standards [21]. Although there are various air quality assessment scales, the domestic ones are usually less strict than European standards. Even so, air quality standards or guidelines are often not met. Among the most frequently analyzed and controlled pollutants are: ozone (O₃), particulate matter (PM), and nitrogen dioxide (NO₂). The first of these, ozone, is a gas produced by the action of sunlight on hydrocarbons and nitrogen oxides [22] and is detrimental to athletic performance when exposure is high enough. Subsequent respiratory discomfort associated with increased exposure to ozone may cause a reduction in maximum work efficiency and significantly contribute to an increase in the overall perceived exertion [23]. Particulate matter is produced mainly from the combustion of fuels in gasoline and diesel engines, the combustion of wood and fossil fuels, and during construction works [24]. There are different criteria for the division of particulates; however, the most frequently analyzed are particulates such as PM₁₀ (with particle diameter below 10 μm), PM_{2.5} (below 2.5 μm), and PM₁ (below 1 μm) [2]. The smaller the particle, the greater its potential to cause harm because it can penetrate more deeply into the lungs. However, even PM₁₀ has a detrimental effect on health, as its combination with sulfur dioxide (SO₂) and water vapor creates sulfuric acid-coated particles that can settle in the lungs and cause irritation and asthma-like symptoms [22]. Nitrogen dioxide, on the other hand, is a by-product of the combustion of fossil fuels [22]. NO₂ tends to coexist with PM and usually O₃, and they are often inhaled simultaneously [2]. As a result, they have a comprehensive effect on the human body, and for this reason, it seems important to analyze all three of the above types of pollutants simultaneously, especially given the fact that the literature lacks studies that show the integrated effect of the three most often described parameters of air pollution on the body of professional athletes.

Numerous studies show a relationship between air pollution and the cardiovascular and respiratory systems [13,25], and adverse changes in biomarkers of physiological and biochemical functions have also been identified [26]. This is directly related to the performance of the athlete's body and thus to their activity during sports competitions.

In order to address this problem and consider the above-mentioned information, it was decided that the aim of the study would be to determine the impact of air quality analyzed on the basis of the model of integrating three types of air pollutants (O_3 , NO_2 , PM_{10}) on the physical activity of football players in the Bundesliga. We hypothesize that as the levels of air pollution increase, players' physical activity worsens.

2. Materials and Methods

2.1. Match Sample and Data Collection

Match performance data were collected from 461 soccer players competing in the German Bundesliga during the 2017/2018 and 2018/2019 domestic seasons. In every season, the league's 18 teams face each opponent twice per season, home and away. Thus, a season comprises of 34 match days and 306 matches, typically held on weekends between August and May [6]. A total of 8927 individual match observations were made of outfield players (goalkeepers were excluded). Only data for players completing entire matches (i.e., on the pitch for the whole 90 min) were considered.

Data were obtained using the IMPIRE AG system with a recording frequency of 25 Hz [27]. Each player's movements were recorded by two cameras [28]. The system utilizes state-of-the-art algorithms and 2-D and 3-D video-recording technology, allowing for detailed motion analysis of entire soccer matches. The major advantages of vision-based systems are their high update rate corresponding to the camera-frame rate and the fact that the players and the ball are tracked simultaneously. The validity and reliability of this system have been described in detail elsewhere [28]. Furthermore, Liu et al. [29] showed that team match events coded by independent operators using this system achieved very good levels of agreement (weighted kappa values of 0.92 and 0.94), with the average difference of event time equal to 0.06 ± 0.04 s.

This study maintains the anonymity of the players following data protection laws, is conducted in compliance with the Declaration of Helsinki, and was approved by the Senate Committee on Ethics of Scientific Research at the Academy of Physical Education in Wrocław (No. 12/2021).

2.2. Procedures

Air quality data was determined on the basis of records from the air pollution monitoring system of the German Environment Agency [30]. This is Germany's main environmental protection agency and is also a German point of contact for numerous international organizations, such as the WHO. The following air pollution parameters were analyzed: particulate matter smaller than ten micrometers (PM_{10}), nitrogen dioxide (NO_2), and ozone (O_3) [31]. The data were read from air pollution meters closest to the stadiums where the matches were played (average distance 3.5 km). For each analyzed match, the mean value of air pollution readings was determined from the data recorded at the beginning and end of the match (average over two hours). In the following stage, the average value of the readings for each parameter was classified as very good, good, moderate, sufficient, bad, or very bad, in accordance with the standards adopted in Poland by the Main Inspectorate Of Environmental Protection [32]—Table 1. The above scale makes it possible to accurately assess all tested parameters and is also widely used in scientific research [24,33].

Table 1. Inspectorate of Environmental Protection (Poland) norms for hourly concentrations and assigned point values.

Air Quality Index	Air Pollution Parameter			Points
	PM_{10} ($\mu g/m^3$)	O_3 ($\mu g/m^3$)	NO_2 ($\mu g/m^3$)	
Very good	0–20	0–70	0–40	1
Good	20.1–50	70.1–120	40.1–100	2
Moderate	50.1–80	120.1–150	100.1–150	3
Sufficient	80.1–110	150.1–180	150.1–200	4
Bad	110.1–150	180.1–240	200.1–400	5
Very bad	>150	>240	>400	6

For each “air quality index”, point values were assigned from 1 (very good) to 6 (very bad)—Table 1. Then, based on the sum of point values assigned to individual “air quality index” categories, a model of integrating three types of air pollutants was created. Based on this model, 4 air quality categories were created: “very good”—the sum of the point values for the three tested parameters (PM_{10} , O_3 , NO_2) is 3; “fair”—the sum of the point values for the three tested parameters is 4; “moderate”—the sum of the score values for the three parameters tested is 5; and “poor”—the sum of the point values for the three tested parameters is at least 6.

In the model of integrating selected air pollution parameters, “very good” (2563 observations) means that all three parameters subject to observation had a “very good air quality index” (e.g., $1 + 1 + 1 = 3$). For “fair” (3749 observations), one of the parameters had a higher point value, defined in the “air quality index” as “good” (e.g., $2 + 1 + 1 = 4$). For “moderate” (1882 observations), for example, one of the parameters had a point value of 1, and the other two parameters had a point value of 2 (e.g., $1 + 2 + 2 = 5$). For “poor” (733 observations), many configurations are possible (e.g., $3 + 2 + 1 = 6$).

The measured indices included players’ physical activities: total distance (TD, distance covered by a player during match play) and high-intensity effort (HIE, running efforts (velocity > 4 m/s) achieved by a player during match play). Complete definitions of physical variables are available at the Deutsche Fußball Liga (DFL) [34]. Definitionskatalog Offizielle Spieldaten—Bundesliga website https://s.bundesliga.com/assets/doc/10000/2189_original.pdf (accessed on 6 June 2019).

2.3. Statistical Analyses

All variables were checked to verify their conformity with a normal distribution. Arithmetic means and standard error were calculated. Spearman’s correlations were used. Then repeated-measures ANOVA was used to compare mean values for the examined variables. Fisher LSD (Least Significant Difference) post-hoc tests were performed to assess differences between means. Moreover, partial eta squared (η^2) was calculated [35]. All statistical analyses were performed using the Statistica ver. 13.1 software package (Dell Inc., Tulsa, OK, USA).

3. Results

The following mean levels and standard errors of air pollution parameters were recorded during the study: PM_{10} , 19.04 ± 0.12 (confidence interval -95% —18.80; confidence interval 95% —19.28) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$); O_3 , -56.50 ± 0.32 (confidence interval -95% —55.87; confidence interval 95% —57.13) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$); NO_2 , -36.07 ± 0.37 (confidence interval -95% —35.34; confidence interval 95% —36.79) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Value of air pollution parameters for individual air quality categories are shown in Table 2.

Table 2. Value of air pollution parameters for individual air quality categories (mean \pm SE).

Air Quality Index	Air Pollution Parameter			Points
	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
Very good	12.51 ± 0.06	40.47 ± 0.25	19.56 ± 0.14	1
Good	29.28 ± 0.14	86.73 ± 0.26	57.80 ± 0.25	2
Moderate	59.92 ± 0.43	132.47 ± 0.57	116.72 ± 1.13	3
Sufficient	-	-	-	4
Bad	-	-	272.58 ± 4.33	5
Very bad	-	-	-	6

We did not find any correlations between the individual air pollution parameters (PM_{10} , O_3 , NO_2) and players’ physical activities (TD, HIE): PM_{10} and TD $r_s = -0.045$; PM_{10} and HIE $r_s = -0.013$; O_3 and TD $r_s = -0.108$; O_3 and HIE $r_s = -0.093$; NO_2 and TD $r_s = 0.005$; and NO_2 and HIE $r_s = 0.040$. Then, a model was developed that integrated the three types of air pollutants was created.

The statistical analysis of player's physical activities as set against air quality categories (very good, fair, moderate, poor) revealed effects in relation to the TLD ($F = 13.900(3)$; $p = 0.001$; $\eta^2 = 0.005$), as shown in Figure 1, and HIE ($F = 8.060(3)$; $p = 0.001$; $\eta^2 = 0.003$), as shown in Figure 2.

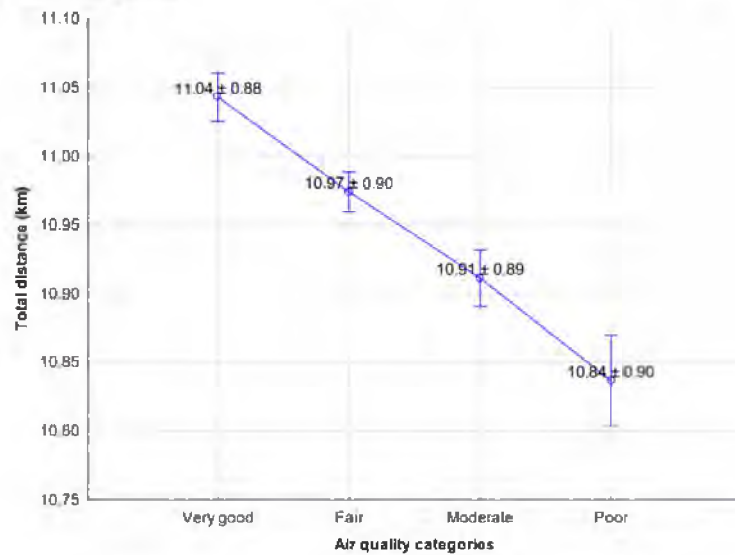


Figure 1. Differences in total distance covered by soccer players in relation to changes in air quality categories (mean ± SE). Differences statistically significant between very good vs. fair $p = 0.01$, fair vs. moderate $p = 0.01$, and moderate vs. poor $p = 0.05$ (Source: own elaboration).

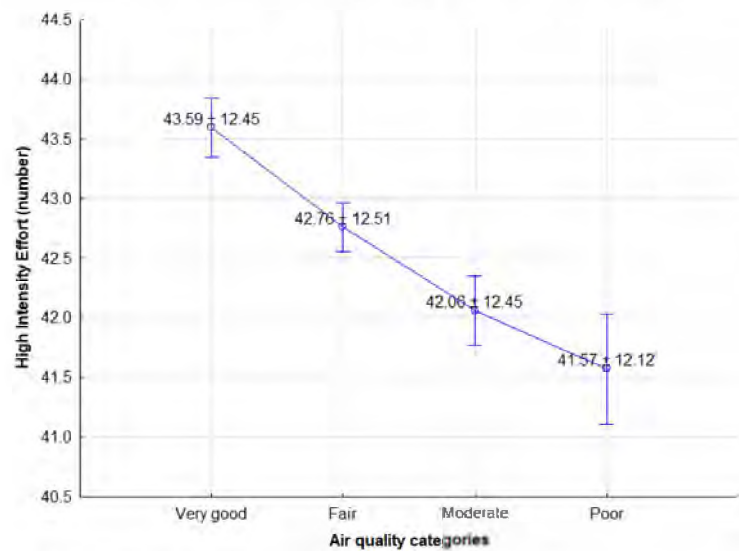


Figure 2. Differences in high-intensity effort of soccer players in relation to changes in air quality categories (mean ± SE). Differences statistically significant between very good vs. fair $p = 0.01$ and fair vs. moderate $p = 0.05$ (Source: own elaboration).

4. Discussion

The study aimed to determine the impact of air quality—analyzed on the basis of the model of integrating three types of air pollutants (O_3 , NO_2 , PM_{10})—on the physical activity of soccer players in the Bundesliga. So far, little research has been undertaken in this field in relation to athletes. Rundell [5] analyzed ice hockey players and skaters and identified that PM products from diesel-powered Zambonis (ice resurfacing machines used in ice rinks) was a factor in the increased prevalence of asthma and airway hyperresponsiveness. His research identified that even warming-up while breathing polluted air containing PM could reduce exercise performance. Whilst that study concerned indoor sport, studies on outdoor sports, where the analysed material is derived from mostly runners or cyclists, are more popular. For example, El Helou et al. [36] found that higher ozone levels were associated with poorer performance in six city marathons. Reduced lung function has also been observed among runners after they ran near busy highways [17] and among cyclists after they rode along heavy traffic routes during rush-hour traffic [37].

Our study is both original and important because, thus far, to the best of our knowledge, only one study on the effects of air quality on the activity of professional soccer players has been published. This is surprising because soccer is one of the most popular outdoor sports; according to the latest FIFA Professional Football Report, it is played by over 128,000 professional football players from 187 countries [38]. In the study concerned, Lichter et al. [6] assessed the effects of particulate air pollution on soccer players in German stadiums, revealing that performance was reduced under poor air quality conditions. In that study, PM_{10} was the only factor taken into account, and the productivity indicator was limited to only the number of passes during a match. However, total distance covered and high intensity effort seem to be more valuable parameters for assessing performance in the context of air quality because soccer is considered a high-intensity, intermittent sport with an unprecedented increase (up to 50%) in high-impulsive actions occurring during match play [39]. Moreover, high-intensity running and accelerations are nowadays the most crucial activities where elite soccer-match performance is concerned [40]. Therefore, in our analysis, the range of measured parameters of air pollutants was significantly expanded, and it was decided that physical activities be included too. Thanks to this, we were able to discover that lowering the air quality level during the match not only negatively affects technical activities, such as passes [6], but also the most important physical activities, such as TD and HIE. Our analysis shows that each level of air quality deterioration significantly reduces both the TD covered by the players and the number of HIE. The difference between the average distance travelled by each player in matches with “very good air quality” and “poor air quality” is 0.2 km (approximately 2 km for the entire team), and the difference in the number of HIEs performed is two repetitions, i.e., as much as 20 for the entire team, which may indirectly impact the game result [11].

In our study, in conditions of “poor air quality” footballers covered the distance 10.84 ± 0.90 km and performed 41.57 ± 12.12 number of HIE. Duda et al. [41] claimed that during enhanced physical activity, athletes inhale up to 20 times more air than during a walk, and a great amount of toxic substances enter their bodies and poison the body's tissue. The greater amount of particulate matter and nitrogen dioxide that enter the body with polluted air may increase bronchiolar fibrosis and play a major role in airway obstruction [42,43]. Exposure to ozone, on the other hand, impairs the function of the endothelium of the ductal vessels [44]. This can result in, amongst other things, endogenous airway acidification episodes indicative of pollution-related lung inflammation [45]. Furthermore, a study by Kargarfard et al. [25] showed that a high concentration of pollutants during physical activities slows cardiovascular functions as well as impacting hematological parameters. Thus, air quality during a football match is extremely important because, together with increased physical effort, the body absorbs harmful substances from the air [46]. Each of the selected air pollutants included in our study (PM_{10} , O_3 , NO_2) causes other negative effects in the human body. However, all three of them are particularly dangerous, which is confirmed by the research by Rundell et al. [13] and Tainio et al. [31].

In view of the harmful effects of air pollution on the human body, it is worth considering what should be done to improve air quality at stadiums and how not to expose athletes and fans to negative health effects. One possible way in which better natural environments might aid health and athletic performance is through mitigation of risk from environmental pollutants. Existing research on this topic has shown that trees can reduce the level of air pollutants in urban areas [47], with one study claiming that in the U.S., trees remove 711,000 tons of air pollutants per year [48]. With regard to athletes, De Wolfe et al. [49] looked into the performance of 128 college-level track and field competitors across four locations that differed in their greenness. The authors found that greenness was a predictor of performance ($r^2 = 0.61$, $p < 0.001$), with athletes' best performances being more likely to occur at the most "green" site. Therefore, it is worth paying attention to having as much greenery as possible in the vicinity of football stadiums. At sites where substantial tree planting in surrounding areas is not possible, roof spaces can be used to green the area. Yang et al. [50] estimated that 1675 kg of air pollutants were removed by 19.8 hectares of green roofs in one year in Chicago. Another way is to install various types of air purification filters near stadiums, which are able to reduce the concentration of particulates in the air by up to about 2 million milligrams per month [51]. By applying the above solution, air pollution during matches will likely be reduced, and both footballers and fans will be less exposed to the negative health effects caused by poor air quality.

The authors are fully aware of the many factors that might have influenced the results of the analyses presented here [52]. The monitoring location was determined at the measuring stations closest to the stadiums. However, to make the measurements more precise, in subsequent analyses, we suggest placing air pollution meters directly next to the stadiums. In addition, the meteorological conditions and the type of buildings between the measuring station and the stadium were not taken into account, and this may have an impact on the actual air quality in a particular stadium. A further limitation concerns the failure to take account of many other parameters helping to characterize external load, such as player load, sprints, acceleration, deceleration, impact of age, and positions, which all also serve to express the demands imposed by matches in non-cyclic team sports. It should also be noted that the linear associations with the individual pollutants (PM_{10} , O_3 , NO_2) were not significant. This may be due to the above-mentioned limitations, and therefore, more research is needed to properly assess the individual pollutant values.

5. Conclusions

An important new finding of the present study is that air quality significantly impacts the physical activity of soccer players. As air pollution levels increase, physical activity during a match decreases. Worsening of just one parameter of air pollution is enough to result in a significant reduction in performance, and this may be a consequence of negative physiological reactions in the body. This is an important finding because air pollutants are currently a significant problem in many countries, and our study is further evidence that action should be taken to improve air quality. Improving air quality during training and sports competitions will result in better well-being and sporting performance of athletes and will also help protect athletes from the negative health effects caused by air pollution.

Author Contributions: Conceptualization, M.Z., R.C. and M.K.; data curation, M.Z., R.C., E.K. and M.K.; formal analysis, M.Z., R.C., M.A., P.C. and M.K.; funding acquisition, M.Z., J.C. and M.K.; investigation, M.Z., R.C., M.A., P.C. and M.K.; methodology, M.Z., R.C., M.A., P.C. and M.K.; project administration, M.Z., M.A., P.C., J.C. and M.K.; resources, M.Z., R.C., M.A., P.C. and M.K.; software, M.Z., E.K. and M.K.; supervision, M.Z., R.C., M.A., P.C., J.C. and M.K.; validation, M.Z., R.C., J.C. and M.K.; visualization, M.Z., R.C., M.A., P.C. and M.K.; writing—original draft, M.Z. and M.K.; writing—review and editing, M.Z., R.C., M.A., P.C., J.C. and M.K. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki, and approved by the Senate Committee on Ethics of Scientific Research at the Academy of Physical Education in Wrocław (No. 12/2021).

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: The data used in this research were acquired from a third party: <https://matchanalysishub.bundesliga.com/login> (accessed on 6 June 2019). The data were provided as part of a scientific cooperation agreement with a professional football club that plays in the 2. Bundesliga. In line with ethical approval for the research, the authors are also prevented from sharing any data that could be re-identified, as a combination of the metadata and the score data would allow for teams, and possibly also players, to be re-identified. However, access to these data is possible from the third-party. The data acquired for this investigation were so-called “excel dumps” of player statistics for each match during the 2017–18 and 2018–19 seasons. Access to the data can be sought via Match Analysis Hub: mdc@sportec-solutions.de.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Reche, C.; Viana, M.; van Drooge, B.L.; Fernández, F.J.; Escribano, M.; Castaño-Vinyals, G.; Nieuwenhuijsen, M.; Adami, P.E.; Bermón, S. Athletes' exposure to air pollution during World Athletics Relays: A pilot study. *Sci. Total Environ.* **2020**, *717*, 137161. [CrossRef]
2. Fitch, K. Air pollution, athletic health and performance and the Olympic Games. *J. Sports Med. Phys. Fit.* **2015**, *56*, 922–932.
3. Flaherty, J.M.; Smoliga, J.M.; Zavorsky, G.S. The effect of increased physical activity on pulmonary diffusing capacity in unfit women. *Exp. Physiol.* **2014**, *99*, 562–570. [CrossRef]
4. Lü, J.; Liang, L.; Feng, Y.; Li, R.; Liu, Y. Air Pollution Exposure and Physical Activity in China: Current Knowledge, Public Health Implications, and Future Research Needs. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2015**, *12*, 14887–14897. [CrossRef]
5. Rundell, K.W. Effect of air pollution on athletic health and performance. *Br. J. Sports Med.* **2012**, *46*, 407–412. [CrossRef]
6. Lichter, A.; Pestel, N.; Sommer, E. Productivity effects of air pollution: Evidence from professional soccer. *Labour Econ.* **2017**, *48*, 54–66. [CrossRef]
7. Carling, C.; Lacombe, M.; McCall, A.; Dupont, G.; Le Gall, F.; Simpson, B.; Buchheit, M. Monitoring of Post-match Fatigue in Professional Soccer: Welcome to the Real World. *Sports Med.* **2018**, *48*, 2695–2702. [CrossRef]
8. Konefal, M.; Chmura, P.; Tessitore, A.; Melcer, T.; Kowalczyk, E.; Chmura, J.; Andrzejewski, M. The Impact of Match Location and Players' Physical and Technical Activities on Winning in the German Bundesliga. *Front. Psychol.* **2020**, *11*, 1748. [CrossRef]
9. Andrzejewski, M.; Chmura, P.; Konefal, M.; Kowalczyk, E.; Chmura, J. Match outcome and sprinting activities in match play by elite German soccer players. *J. Sports Med. Phys. Fit.* **2018**, *58*, 785–792. [CrossRef]
10. Modric, T.; Versic, S.; Sekulic, D.; Liposek, S. Analysis of the Association between Running Performance and Game Performance Indicators in Professional Soccer Players. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2019**, *16*, 4032. [CrossRef]
11. Chmura, P.; Konefal, M.; Chmura, J.; Kowalczyk, E.; Zajac, T.; Rokita, A.; Andrzejewski, M. Match outcome and running performance in different intensity ranges among elite soccer players. *Biol. Sport* **2018**, *35*, 197–203. [CrossRef]
12. Rao, X.; Zhong, J.; Brook, R.D.; Rajagopalan, S. Effect of Particulate Matter Air Pollution on Cardiovascular Oxidative Stress Pathways. *Antioxid. Redox Signal.* **2018**, *28*, 797–818. [CrossRef]
13. Rundell, K.W.; Anderson, S.D.; Sue-Chu, M.; Bougault, V.; Boulet, L. Air Quality and Temperature Effects on Exercise-Induced Bronchoconstriction. *Compr. Physiol.* **2015**, *5*, 579–610. [CrossRef]
14. Pöschl, U.; Shiraiwa, M. Multiphase Chemistry at the Atmosphere–Biosphere Interface Influencing Climate and Public Health in the Anthropocene. *Chem. Rev.* **2015**, *115*, 4440–4475. [CrossRef] [PubMed]
15. Barraza-Villarreal, A.; Sunyer, J.; Cadena, L.H.; Escamilla-Núñez, M.C.; Sienra-Monge, J.J.; Ramirez-Aguilar, M.; Cortez-Lugo, M.; Holguin, E.; Diaz-Sanchez, D.; Olin, A.C.; et al. Air Pollution, Airway Inflammation, and Lung Function in a Cohort Study of Mexico City Schoolchildren. *Environ. Health Perspect.* **2008**, *116*, 832–838. [CrossRef] [PubMed]
16. Campen, M.J.; Lund, A.; Rosenfeld, M. Mechanisms linking traffic-related air pollution and atherosclerosis. *Curr. Opin. Pulm. Med.* **2012**, *18*, 155–160. [CrossRef] [PubMed]
17. Rundell, K.W.; Slee, J.B.; Caviston, R.; Hollenbach, A.M. Decreased Lung Function After Inhalation of Ultrafine and Fine Particulate Matter During Exercise is Related to Decreased Total Nitrate in Exhaled Breath Condensate. *Inhal. Toxicol.* **2008**, *20*, 1–9. [CrossRef]
18. Khilnani, G.C.; Tiwari, P. Air pollution in India and related adverse respiratory health effects: Past, present, and future directions. *Curr. Opin. Pulm. Med.* **2018**, *24*, 108–116. [CrossRef] [PubMed]
19. Tian, L.; Sun, S. Comparison of Health Impact of Air Pollution between China and Other Countries. *Airt. Exp. Med. Biol.* **2017**, *1017*, 215–232. [CrossRef]
20. Cichowicz, R.; Wielgosiński, G.; Fetter, W. Dispersion of atmospheric air pollution in summer and winter season. *Environ. Monit. Assess.* **2017**, *189*, 605. [CrossRef]

21. Petrowski, K.; Bastianon, C.D.; Bühner, S.; Brähler, E. Air Quality and Chronic Stress: A Representative Study of Air Pollution (PM_{2.5}, PM₁₀) in Germany. *J. Occup. Environ. Med.* **2019**, *61*, 144–147. [CrossRef] [PubMed]
22. Lippi, G.; Guidi, G.; Maffulli, N. Air Pollution and Sports Performance in Beijing. *Int. J. Sports Med.* **2008**, *29*, 696–698. [CrossRef]
23. Carlisle, A.J.; Sharp, N.C. Exercise and outdoor ambient air pollution. *Br. J. Sports Med.* **2001**, *35*, 214–222. [CrossRef]
24. Cichowicz, R.; Stelegowski, A. Average Hourly Concentrations of Air Contaminants in Selected Urban, Town, and Rural Sites. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* **2019**, *77*, 197–213. [CrossRef] [PubMed]
25. Kargarfarid, M.; Shariat, A.; Shaw, B.S.; Shaw, I.; Lam, E.T.C.; Kheiri, A.; Eatemadyboroujeni, A.; Tamrin, S.B.M.; Shariat, A. Effects of Polluted Air on Cardiovascular and Hematological Parameters After Progressive Maximal Aerobic Exercise. *Lung* **2015**, *193*, 275–281. [CrossRef] [PubMed]
26. Brook, R.D.; Rajagopalan, S.; Pope, C.A.; Brook, J.R.; Bhatnagar, A.; Diez-Roux, A.V.; Holguin, F.; Hong, Y.; Luepker, R.V.; Mittleman, M.A.; et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* **2010**, *121*, 2331–2378. [CrossRef] [PubMed]
27. Tiedemann, T.; Francksen, T.; Latacz-Lohmann, U. Assessing the performance of German Bundesliga football players: A non-parametric metafrontier approach. *Cent. Eur. J. Oper. Res.* **2010**, *19*, 571–587. [CrossRef]
28. Link, D.; Weber, H. Effect of Ambient Temperature on Pacing in Soccer Depends on Skill Level. *J. Strength Cond. Res.* **2017**, *31*, 1766–1770. [CrossRef] [PubMed]
29. Liu, H.; Hopkins, W.; Gómez, A.M.; Molinuevo, S.J. Inter-operator reliability of live football match statistics from OPTA Sportsdata. *Int. J. Perform. Anal. Sport* **2013**, *13*, 803–821. [CrossRef]
30. The German Environment Agency. Official Webpage. Available online: www.umweltbundesamt.de (accessed on 30 October 2021)
31. Tainio, M.; Andersen, Z.J.; Nieuwenhuijsen, M.J.; Hu, L.; de Nazelle, A.; An, R.; Garcia, L.M.; Goenka, S.; Zapata-Diomedes, B.; Bull, F.; et al. Air pollution, physical activity and health: A mapping review of the evidence. *Environ. Int.* **2020**, *147*, 105954. [CrossRef] [PubMed]
32. The Main Inspectorate of Environmental Protection. Official Webpage. Available online: www.gios.gov.pl (accessed on 30 October 2021).
33. Kobza, J.; Geremek, M.; Dul, J. Characteristics of air quality and sources affecting high levels of PM₁₀ and PM_{2.5} in Poland, Upper Silesia urban area. *Environ. Monit. Assess.* **2018**, *190*, 515. [CrossRef]
34. Deutsche Fußball Liga (DFL). Definitionskatalog Offizielle Spieldaten—Bundesliga Website. Available online: https://s.bundesliga.com/assets/doc/10000/2189_original.pdf (accessed on 6 June 2019).
35. Cohen, J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, 2nd ed.; Routledge: New York, NY, USA, 1988.
36. El Helou, N.; Taïflet, M.; Berthelot, G.; Tolaini, J.; Marc, A.; Guillaume, M.; Hauswirth, C.; Toussaint, J.-F. Impact of Environmental Parameters on Marathon Running Performance. *PLoS ONE* **2012**, *7*, e37407. [CrossRef]
37. Strak, M.; Boogaard, H.; Meliefste, K.; Oldenwening, M.; Zuurbier, M.; Brunekreef, B.; Hoek, G. Respiratory health effects of ultrafine and fine particle exposure in cyclists. *Occup. Environ. Med.* **2009**, *67*, 118–124. [CrossRef]
38. FIFA Official Webpage. Available online: www.fifa.com (accessed on 30 October 2021).
39. Barnes, C.; Archer, D.T.; Hogg, B.; Bush, M.; Bradley, P.S. The Evolution of Physical and Technical Performance Parameters in the English Premier League. *Int. J. Sports Med.* **2014**, *35*, 1095–1100. [CrossRef]
40. Konefal, M.; Chmura, P.; Zajac, T.; Chmura, J.; Kowalczyk, E.; Andrzejewski, M. A New Approach to the Analysis of Pitch-Positions in Professional Soccer. *J. Hum. Kinet.* **2019**, *66*, 143–153. [CrossRef]
41. Duda, H.; Rydzik, Ł.; Czarny, W.; Blach, W.; Görner, K.; Ambroży, T. Reaction of the Organisms of Young Football Players to City Smog in the Sports Training. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, *17*, 5510. [CrossRef] [PubMed]
42. Pinkerton, K.E. Distribution of particulate matter and tissue remodeling in the human lung. *Environ. Health Perspect.* **2000**, *108*, 1063–1069. [CrossRef]
43. Goodman, J.E.; Chandalia, J.K.; Thakali, S.; Seeley, M. Meta-analysis of nitrogen dioxide exposure and airway hyper-responsiveness in asthmatics. *Crit. Rev. Toxicol.* **2009**, *39*, 719–742. [CrossRef]
44. Münzel, T.; Cori, T.; Al-Kindi, S.; Deanfield, J.; Lelieveld, J.; Daiber, A.; Rajagopalan, S. Effects of gaseous and solid constituents of air pollution on endothelial function. *Eur. Heart J.* **2018**, *39*, 3543–3550. [CrossRef]
45. Ferdinands, J.M.; Crawford, C.A.G.; Greenwald, R.; Van Sickle, D.; Hunter, E.; Teague, W.G. Breath acidification in adolescent runners exposed to atmospheric pollution: A prospective, repeated measures observational study. *Environ. Health* **2008**, *7*, 10. [CrossRef] [PubMed]
46. Wojdat, M.; Stańczyk, A.; Gielera, G. Zanieczyszczenia powietrza a choroby układu sercowo-naczyniowego—Niedoceniany problem. *Lek. Wojsk.* **2016**, *1*, 10–16.
47. Rowe, D.B. Green roofs as a means of pollution abatement. *Environ. Pollut.* **2011**, *159*, 2100–2110. [CrossRef]
48. Nowak, D.J.; Crane, D.E.; Stevens, J.C. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban For. Urban Green.* **2006**, *4*, 115–123. [CrossRef]
49. DeWolfe, J.; Waliczek, T.; Zajicek, J. The Relationship between Levels of Greenery and Landscaping at Track and Field Sites, Anxiety, and Sports Performance of Collegiate Track and Field Athletes. *HortTechnology* **2011**, *21*, 329–335. [CrossRef]
50. Yang, J.; Yu, Q.; Gong, P. Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmos. Environ.* **2008**, *42*, 7266–7273. [CrossRef]

51. Oxygencity Official Webpage. Available online: <http://www.oxygencity.pl> (accessed on 30 October 2021).
52. Gonçalves, L.G.C.; Clemente, F.; Vieira, L.H.P.; Bedo, B.; Puggina, E.F.; Moura, F.A.; Mesquita, E.; Santiago, P.R.P.; Almeida, R.; Aquino, R. Effects of match location, quality of opposition, match outcome, and playing position on load parameters and players' prominence during official matches in professional soccer players. *Hum. Mov.* **2021**, *22*, 35–44. [CrossRef]

Zacharko, M., Cichowicz, R., Depta, A., Chmura, P., & Konefał, M. (2023). High Levels of PM10 Reduce the Physical Activity of Professional Soccer Players. *International journal of environmental research and public health*, 20(1), 692.



Article

High Levels of PM10 Reduce the Physical Activity of Professional Soccer Players

Michał Zacharko ^{1,*}, Robert Cichowicz ², Adam Depta ^{3,4}, Paweł Chmura ⁵ and Marek Konefał ¹

¹ Department of Human Motor Skills, Wrocław University of Health and Sport Sciences, I.J. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław, Poland

² Institute of Environmental Engineering and Building Installations, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Environmental Engineering, Lodz University of Technology, Al. Politechniki 6, 90-924 Lodz, Poland

³ Department of Forecasts and Quantitative Analyses, Faculty of Organization and Management, Institute of Management, Lodz University of Technology, Wolczanska Street 221, 93-005 Lodz, Poland

⁴ Department of Medical Insurance and Health Care Financing, Medical University of Lodz, Lindleya 6, 90-131 Lodz, Poland

⁵ Department of Team Games, Wrocław University of Health and Sport Sciences, I.J. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław, Poland

* Correspondence: michal.zacharko@awf.wroc.pl

Abstract: The aim of this study is to determine the impact of air quality, analyzed on the basis of the PM10 parameter in three regions of Poland, on the physical activity of soccer players from the Polish Ekstraklasa. The study material consisted of 4294 individual match observations of 362 players during the 2019/2020 domestic season. The measured indices included the parameter of air quality—PM10—and players' physical activities: total distance (TD) and high-speed running (HSR). Poland was divided into three regions (North, Central, South). The statistical analysis of particulate matter (PM) and athletes' physical activities, compared by region, revealed the effects in relation to the PM10 ($H = 215.6566(2); p = 0.0001$) and TD ($H = 28.2682(2); p = 0.0001$). Players performed better in regards to physical parameters in the North Region, where air pollution is significantly lower than in other regions. This means that even a short stay in more polluted regions can reduce the performance of professional footballers, which can indirectly affect the outcome of the match. Therefore, greater actions should be taken to improve air quality, especially through changes in daily physical activity, as this will reduce the carbon footprint.

Keywords: football; total distances covered; high speed running; intensity; air quality; particulate matter; regions



Citation: Zacharko, M.; Cichowicz, R.; Depta, A.; Chmura, P.; Konefał, M. High Levels of PM10 Reduce the Physical Activity of Professional Soccer Players. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2023**, *20*, 692. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010692>

Academic Editor: Paul B. Tchounwou

Received: 22 November 2022
Revised: 20 December 2022
Accepted: 27 December 2022
Published: 30 December 2022



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Air pollution is a factor that is currently attracting greater attention because of its threat to human health (Schraufnagel et al., 2019) [1]. According to the Lancet Commission on Pollution and Health, pollution is currently the principal environmental cause of disease and premature death in the world. Pollution-induced diseases were responsible for around 9 million premature deaths in 2015 (Landrigan et al., 2018) [2] and 790,000 additional deaths in Europe alone (Lelieveld et al., 2019) [3]. Moreover, air pollution is the most important risk factor among all environmental pollutants (Cohen et al., 2017) [4]. One of the most harmful parameters is particulate matter (PM), which is produced by burning wood and fossil fuels, especially due to construction work and traffic (Cichowicz and Stelegowski, 2019) [5]. Its concentration depends on several factors, including the season of the year, time of day, and location (Nieckarz and Zoladz, 2020) [6]. It is worth noting that in large urban agglomerations in many cities around the world, increasingly higher concentrations of PM are observed (Gupta et al., 2006; Khilnani and Tiwari, 2018; Tian and Sun, 2017) [7–9]. In Poland, the concentration of PM and other parameters of air

pollutants varies depending on the region (Lubiński et al., 2005) [10]. Breathing air with a high concentration of pollutants has a negative effect on health (Orru et al., 2017) [11]. This effect has been extensively studied, and subsequent studies have consistently documented the negative effects of pollution on people's physical and mental health (Landrigan et al., 2018; Welsch, 2007) [2,12]. Particulate matter is especially dangerous because it recruits immune cells, increases oxidative stress in both the vascular system and the brain, and makes the vascular system hypersensitive to vasoconstrictors, contributing to vascular (endothelial) dysfunction (Mürzel et al., 2018) [13]. It is also worth emphasising that air pollution has a negative impact on several components of an individual's mental health, including subjective well-being (Li et al., 2018) [14], life satisfaction (Welsch, 2006) [15], happiness (Welsch, 2007) [12], and even depressive symptoms (Zhang et al., 2017) [16]. These harmful effects of air pollution also apply to sports and physical activity, which is why attention should be paid to examining the impact that pollution can have on an individual's health and level of physical activity (Roberts et al., 2014) [17].

Previous research has shown that there are many other factors affect an individual's physical (Marmot, 2005) [18] and mental health (Dolan et al., 2008) [19]. An example of such a factor is physical activity, which has a positive impact on both physical (Downward et al., 2016; Humphreys et al., 2014) [20,21] and mental health (Downward and Dawson, 2016; Wicker and Frick, 2017) [22,23]. For this reason, a topic that is currently receiving special attention is the impact of air pollution on the health of people who engage in physical activity (An et al., 2018; Giles and Koehle, 2014) [24,25] and practice outdoor sports, including athletes (Kuskowska et al., 2019; Reche et al., 2020) [26,27]. However, it should be emphasized that all forms of physical activity increase the amount of air ventilated through the lungs (minute ventilation—VE), which is several times greater during moderate-intensity exercise than at rest (Bowen et al., 2019; Zoladz et al., 2019) [28,29]. For example, minute ventilation (VE), which is about 6–8 L of air for a person at rest, can reach 30–50 L per minute during moderate exertion and may even exceed 100 L per minute during very intense exercise (Wasserman et al., 2011) [30]. Some athletes are able to exceed the VE value by up to 200 L per minute, which is about 30 times more than at rest levels (Allen, 2004) [31]. During increased intake of air, the amount of suspended solid particles inhaled is greater. This, in turn, results in the deposition of more these substances in the respiratory tract and other body organs (Nieckarz and Zoladz, 2020) [5].

Therefore, the study of soccer players is indicated, because they are particularly exposed to the negative health effects of air pollution. The number and frequency of professional soccer matches is large. Match schedules are very exhausting and teams need to be ready to play up to 60 matches per season (Carling et al., 2018) [32]. During a 90 min game, elite-level players run approximately 10 km and perform numerous explosive bursts of activities, such as kicking, jumping, tackling, sprinting, changing direction, turning, and sustaining forceful contractions to maintain balance and control of the ball against defensive pressure (Stølen et al., 2005) [33]. Therefore, every match requires players to be in top physical condition. The parameters of physical activity most frequently studied and described in the literature are total distance covered (TD) and high-speed running (HSR) (Aquino et al., 2021; Konefal et al., 2021) [34,35]. For example, Andrzejewski et al., (2018) [36] proved that total distance covered is significantly greater for winning teams. In other studies, both Chmura et al., (2018) [37] and Modric et al., (2019) [38] indicated that high-intensity efforts (sprinting and fast running) should be included among the most important measures of physical activity in soccer. The aim of this study is to determine the impact of air quality, analyzed on the basis of the PM10 parameter in three regions of Poland, on the physical activity of soccer players from the Polish Ekstraklasa.

2. Materials and Methods

2.1. Match Sample and Data Collection

Match performance data were collected from 362 soccer players competing in the Polish Ekstraklasa during the 2019/2020 season. The league featured 16 teams, who faced

each opponent twice during each season, at home and away. Additionally, after playing 30 matches, two groups were formed: the championship and the relegation group, and in each of these, 7 additional matches were played. Thus, a season included 37 match days and 296 matches. A total of 4294 individual match observations of outfield players (excluding goalkeepers, due to the specificity of the position) were made (Konefal et al., 2019) [39]. Only data on players who completed entire matches (i.e., remained on the pitch for the entire 90 min) were taken into account.

The physical activity data were collected using the previously-validated (Linke et al., 2020) [40] TRACAB system (ChyronHego, NY, USA). This system consists of two multi-camera units, each consisting of three HD-SDI cameras with a resolution of 1920×1080 pixels. The sampling frequency of this system was 25 Hz. Two variables were analyzed: total distance (TD), distance covered in high-speed running (HSR; $19.8\text{--}25.1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$). The TRACAB tracking system has been verified by passing the official FIFA (Fédération Internationale de Football Association) test protocol for electronic performance and tracking systems (EPTS).

This study maintains the anonymity of the players (following data protection laws), is conducted in compliance with the Declaration of Helsinki, and was approved by the Senate Committee on Ethics of Scientific Research at the Academy of Physical Education in Wrocław (No. 12/2021).

2.2. Procedures

Data on air quality were collected on the basis of information from automatic air monitoring stations, which were made available by the Voivodship Inspectorate for Environmental Protection (WIOŚ) and by the Main Inspectorate for Environmental Protection (GIOŚ) in Poland, whereas the meteorological data used in this analysis come from the Institute of Meteorology and Water Management-National Research Institute. The parameter PM10 was analyzed because its concentration is one of the basic parameters examined in the assessment of air quality (Anderson et al., 2012; Zaric et al., 2021) [41,42]. However, according to the European Union (Directive 2008/50/EC), the permissible annual average concentration of PM10 is $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, and the daily average concentration is $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. However, according to WHO (WHO, 2021) [43], the permissible annual average concentration of PM10 is $15 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, and the daily average is $45 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Data were collected from air quality measurement stations located closest to the stadiums where matches were played, and all measurements were read with an accuracy of $0.01 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. In each analyzed match, three measurements of air pollution were made (at the beginning, during the break, and at the end of the match). The arithmetic mean and standard deviation were then calculated from these air pollution values.

Data on the analyzed pollutants came from a total of 15 monitoring stations, which were divided into three regions of Poland (North Region, Central Region, South Region). As a result, regions with different levels of air pollution were obtained (Lubiński et al., 2005) [10]. Regions have been designated based on latitudes (Cox and Popken, 2020) [44], with each region extending 2° north latitude (N). Regarding the North Region (latitude 53°N – 55°N), the players play matches in the cities of Białystok, Gdańsk, Gdynia, and Szczecin (1038 observations). In the Central Region (latitude 51°N – 53°N), teams play matches in the cities of Łódź, Lubin, Płock, Poznań, Wrocław, and Warsaw (1624 observations). In the South Region (latitude 49°N – 51°N), the teams perform in the cities of Cracow, Częstochowa, Gliwice, Kielce, and Zabrze (1632 observations). Thus, the locations were obtained and marked with a combination of symbols relating to the region and the city (Table 1 and Figure 1).

Table 1. Measuring station symbols.

Symbol	Region	City Name	Population
NBia	North	Białystok	293,413
NGda	North	Gdańsk	486,271
NGdy	North	Gdynia	244,676
NSzc	North	Szczecin	394,482
CLod	Central	Łódź	664,860
CLub	Central	Lubin	69,267
CPlo	Central	Płock	113,660
CPoz	Central	Poznań	545,073
CWro	Central	Wrocław	674,312
CWar	Central	Warsaw	1,863,056
SCra	South	Cracow	802,583
SCze	South	Częstochowa	210,773
SGli	South	Gliwice	172,628
SKie	South	Kielce	184,520
SZab	South	Zabrze	156,935

Population status as of 31 December 2021. Source: Central Statistical Office.

**Figure 1.** Location of selected measuring stations in selected cities of Poland.

2.3. Statistical Analyses

In the research, several methods of statistical inference were used, including the Shapiro–Wilk normality test, tests of homogeneity of variance, i.e., Bartlett’s, Cochran’s, and Hartley’s tests (used to verify the assumptions: about the normality of the explained variable distribution and the homogeneity of its variance in the studied populations), and the Kruskal–Wallis test, in the case of the data failing to meet the above assumptions.

In order to apply the analysis of variance for the variables—HSR, TD, PM₁₀—initially, the assumption regarding the normality of the distribution of the above-mentioned variables was checked using the Shapiro–Wilk test. In order to verify the null hypothesis regarding the distribution normality of the results of the analyzed variables, the null hypothesis that the examined feature of the population has a normal distribution was checked

against the alternative hypothesis that the feature of the population does not have a normal distribution. At the significance level of $\alpha = 0.05$, the verified null hypothesis was rejected, so it could not be concluded that the distribution of the variables was normal. In the next stage, the assumption regarding the homogeneity of the variance of variables in the regions was checked. At the significance level of $\alpha = 0.05$, the verified null hypothesis that the variances in individual regions are the same for the analyzed variables was rejected. Due to the failure of the above assumptions regarding the classical analysis of variance, the non-parametric Kruskal–Wallis test was used.

All statistical analyses were performed using the Statistica ver. 13.3 software package (Dell Inc., Tulsa, OK, USA).

3. Results

Based on the results presented in Table 2, it can be concluded that the variables TD and PM10 depend on the regions ($p < 0.05$).

Table 2. Value of air pollution and physical activity parameters by region (mean \pm SD).

Parameter	Region			SSD $p < 0.05$
	North (N)	Central (C)	South (S)	
PM10 [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]	18.16 \pm 11.70	22.20 \pm 12.62	27.33 \pm 20.32	N-C; N-S; C-S
Total Distance [km]	10.78 \pm 0.83	10.61 \pm 0.87	10.59 \pm 0.90	N-C; N-S
High Speed Running [m]	669.84 \pm 204.55	656.10 \pm 214.83	661.43 \pm 214.26	-

SSD—statistically significant differences.

The statistical analysis of PM and the physical activity of players, compared by regions (North, Central, South), revealed the effects in relation to the PM10 ($H = 215.6566(2)$; $p = 0.0001$), TD ($H = 28.2682(2)$; $p = 0.0001$). No significant effect was found for HSR ($H = 3.411(2)$; $p = 0.1817$); Table 2.

4. Discussion

The aim of the study is to determine the impact of air quality, analyzed on the basis of the PM10 parameter in three regions of Poland, on the physical activity of soccer players from the Polish Ekstraklasa. On the basis of the literature reviewed, the authors noted that only two studies have been published on the impact of air quality on the activity of professional soccer players (Lichter et al., 2017; Zacharko et al., 2021) [45,46]. This study is a continuation of an important observation described in the publication entitled, "Air Pollutants Reduce the Physical Activity of Professional Soccer Players" (Zacharko et al., 2021) [46]. Continuing the research in this area is very important, as it concerns the physical activity of professional athletes, but it can also support the health-promoting nature of the daily physical activity of the whole society. The quantitative and qualitative analysis of soccer performance is currently very popular, as it can maximize the chances for team success (Maneiro et al., 2020) [47].

Lichter et al. (2017) [45] proved that air pollution negatively affects footballers in German stadiums. However, the performance indicator was limited to only the number of passes attempted during the match. As soccer is considered a high-intensity sport, the total distance covered and the running speed are more valuable parameters for assessing the performance of the athletes in order to evaluate the impact of air quality (Barnes et al., 2014) [48]. Therefore, in another study, based on the example of the German Bundesliga, the topic of physical activity was discussed, and it was proved that the reduction in the level of air quality during the match had a negative impact not only on technical activities, such as passing, but also on total distance covered (TD) and high-speed running (HSR) (Zacharko et al., 2021) [46]. In order to investigate the problem in more detail, research was carried out in Poland, i.e., a country with more polluted air and characterized by large regional differences in ambient air pollution (Kocot and Zejda, 2022) [49].

Analyzing the average level of particulate matter in three regions of Poland, our study found that the more northern the region, the lower the level of PM10 pollution. The difference may be due to the fact that the South Region is the most industrial region in Poland, which includes the Silesian Agglomeration and Cracow, which in turn are of the cities with the worst air quality in Europe (Traczyk and Gruszecka-Kosowska, 2020) [50]. On the other hand, in the Central Region, there are large cities such as Warsaw, a city more polluted than, for example, Białystok or Gdansk, which are included in the North Region (Slama et al., 2020) [51]. This is also due to the terrain and its roughness, as well as meteorological conditions. Additionally, attention should be paid to the fact that in Poland, the dominant wind directions are western and south-western, which may result in both the transboundary and local displacement of pollutants, and the consequence of this may be increased levels of pollution in a given area. Under the best air quality conditions (the lowest levels of PM10), i.e., in the North Region of Poland, the players exhibited a significantly longer average TD compared to those noted in the Central Region and South Region. In addition, when analyzing the HSR, it was noticed that in the North Region, players also achieved the best results, although this is not supported by statistical significance. Thus, it can be seen that by playing matches in a less polluted environment, soccer players can achieve better results regarding the physical parameters. This may be caused mainly by geographic and meteorological conditions, as a consequence of lower population density, higher average wind speed, and more green areas. In addition, it is also worth analyzing the human body's response to breathing polluted air and its impact on the exercise capacity of the players.

All forms of physical activity increase the amount of air ventilated through the lungs (minute ventilation—VE), which is several times higher than during rest, even during moderate-intensity exercise (Allen, 2004; Bowen et al., 2019; Zoladz et al., 2019) [28,29,31]. Additionally, this causes a greater intake of particulate matter into the lungs and increases the amount of particulate matter deposited in the respiratory tract. That is why air quality is especially important during a soccer match because the effect of increased physical exertion causes the absorption of harmful substances from the air into the body (Duda et al., 2020) [52]. Moreover, Kargarfard et al. (2015) [53] showed that hematological parameters and cardiovascular functions during exercise are disturbed by high concentrations of air pollution. In athletes, the consequence is worsening lung function, which in turn results in reduced peak expiratory flow and increased airway inflammation (Qin et al., 2019) [54]. Moreover, elevated blood pressure caused by air pollution can even impair exercise capacity and decrease athletic performance (An et al., 2018; Tainio et al., 2021) [24,55].

Considering the negative impact of air pollution on the human body, it is worth determining specific actions that should be taken so that athletes and fans are less exposed to the harmful health effects related to poor air quality. Several very interesting concepts were presented by Nieuwenhuijsen (2021) [56], the main suggestion of which was to increase active transport (walking and cycling). By walking or cycling, the carbon footprint produced by daily trips is reduced by up to 84%, compared to that created by car users (Brand et al., 2021) [57]. At the same time, active transport will lead to an increase in physical activity and, as a result, the promotion and improvement of health. This method of movement may be supported by the concept of the so-called 15 min city, in which schools, work, sports, shopping, and entertainment are all within a 15 min walking or cycling distance from home (Moreno et al., 2021) [58]. Another solution could be a car-free city that relies heavily on public, pedestrian, or bicycle transport (Nieuwenhuijsen and Khreis, 2016) [59]. By applying the above concepts, the society (fans) can contribute to the improvement of air quality in cities, and at the same time, affect the performance of players during matches.

The authors are fully aware of numerous factors that could have influenced the results of the presented analyses. The measuring stations were located close to the stadiums; however, to obtain more accurate measurements, the meters should be placed in the stadiums themselves. In addition, as the meteorological conditions and the type of development

between the stadium and the measuring station were not taken into account, the air quality data may have been inaccurate. Another limitation is the failure to take into account other parameters that make it possible to characterize the external load, such as acceleration, deceleration, and player load, which also are used to express the demands of matches in non-cyclical team sports. Additionally, the HSR parameter was not individualised based on the percentage of maximum sprint speed, and the match results were not taken into account. In addition, the time spent by the players before the match in a given zone, as well as the diversity of the schedule of the games, were not taken into account. The above limitations are worth considering in future research. Moreover, in subsequent studies, the dynamics of regeneration processes in various air quality should be considered.

5. Conclusions

Air pollution is an important situational factor during soccer matches. Even a short-term stay in a more polluted region can reduce the performance of professional soccer players, which can indirectly affect the match outcome. Moreover, it seems that every fan can take action in everyday life to improve air quality. Supporting one's favorite players and soccer teams should not be limited only to activity in the stadium, but should also extend to daily physical activity, which will reduce the carbon footprint. As a result, this change in daily activity will improve air quality, which will translate into significant health benefits for both athletes and fans.

Author Contributions: Conceptualization, M.Z., R.C. and M.K.; Methodology, M.Z., R.C. and M.K.; Software, M.Z. and M.K.; Validation, M.Z., R.C. and M.K.; Formal analysis, M.Z., R.C., A.D., P.C. and M.K.; Investigation, M.Z., R.C., A.D., P.C. and M.K.; Resources, M.Z., R.C., A.D. and M.K.; Data curation, M.Z., R.C., A.D. and M.K.; Writing—original draft, M.Z. and M.K.; Writing—review & editing, M.Z., R.C., A.D., P.C. and M.K.; Visualization, M.Z., R.C., A.D., P.C. and M.K.; Supervision, M.Z., R.C., A.D., P.C. and M.K.; Project administration, M.Z., A.D., P.C. and M.K.; Funding acquisition, M.Z. and M.K. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: This study maintains the anonymity of the players (following data protection laws), is conducted in compliance with the Declaration of Helsinki, and was approved by the Senate Committee on Ethics of Scientific Research at the Academy of Physical Education in Wrocław (No. 12/2021).

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: The data used for this study was acquired from a third-party, <https://tracalportal.azurewebsites.net/login> (access on 1 April 2021). The data was provided under scientific cooperation with a football clubs currently appearing in Ekstraklasa. The authors' ethical approval also prevents them from sharing any data in any way that could be re-identified. The metadata would allow someone else to re-identify teams and possibly players. However, access to the data should be possible from the third-party. The data acquired were so called 'excel dumps' of player statistics per match. Access to the data can be organized by contacting Match Analysis Hub: info@chyronego.com.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Schraufnagel, D.E.; Balmes, J.R.; De Matteis, S.; Hoffman, B.; Kim, W.J.; Perez-Padilla, R.; Rice, M.; Sood, A.; Vanker, A.; Wuebbles, D.J. Health Benefits of Air Pollution Reduction. *Ann. Am. Thorac. Soc.* **2019**, *16*, 1478–1487. [CrossRef] [PubMed]
2. Landrigan, P.J.; Fuller, R.; Acosta, N.J.R.; Adeyi, O.; Arnold, R.; Basu, N.; Balde, A.B.; Bertollini, R.; Bose-O'Reilly, S.; Boufford, J.L.; et al. The Lancet Commission on pollution and health. *Lancet* **2018**, *391*, 462–512. [CrossRef] [PubMed]
3. Lelieveld, J.; Klingmüller, K.; Pozzer, A.; Pöschl, U.; Fnais, M.; Daiber, A.; Münzel, T. Cardiovascular disease burden from ambient air pollution in Europe reassessed using novel hazard ratio functions. *Eur. Heart J.* **2019**, *40*, 1590–1596. [CrossRef] [PubMed]
4. Cohen, A.J.; Brauer, M.; Burnett, R.; Anderson, H.R.; Frostad, I.; Estep, K.; Balakrishnan, K.; Brunekreef, B.; Dandona, L.; Dandona, R.; et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: An analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *Lancet* **2017**, *389*, 1907–1918. [CrossRef] [PubMed]

5. Cichowicz, R.; Stelegowski, A. Average Hourly Concentrations of Air Contaminants in Selected Urban, Town, and Rural Sites. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* **2019**, *77*, 197–213. [CrossRef] [PubMed]
6. Niciekarz, Z.; Zoladz, J.A. Low-cost air pollution monitoring system—An opportunity for reducing the health risk associated with physical activity in polluted air. *PeerJ* **2020**, *8*, e10041. [CrossRef]
7. Gupta, P.; Christopher, S.A.; Wang, J.; Gehrig, R.; Lee, Y.; Kumar, N. Satellite remote sensing of particulate matter and air quality assessment over global cities. *Atmos. Environ.* **2006**, *40*, 5880–5892. [CrossRef]
8. Khilnani, G.C.; Tiwari, P. Air pollution in India and related adverse respiratory health effects: Past, present, and future directions. *Curr. Opin. Pulm. Med.* **2018**, *24*, 108–116. [CrossRef]
9. Tian, L.; Sun, S. Comparison of Health Impact of Air Pollution between China and other Countries. *Adv. Exp. Med. Biol.* **2017**, *1017*, 215–232. [CrossRef]
10. Lubiński, W.; Toczyńska, I.; Chciałowski, A.; Plusa, T. Influence of air pollution on pulmonary function in healthy young men from different regions of Poland. *Ann. Agric. Environ. Med.* **2005**, *12*, 1–4.
11. Orru, H.; Ebi, K.L.; Forsberg, B. The Interplay of Climate Change and Air Pollution on Health. *Curr. Environ. Health Rep.* **2017**, *4*, 504–513. [CrossRef] [PubMed]
12. Welsch, H. Environmental welfare analysis: A life satisfaction approach. *Ecol. Econ.* **2007**, *62*, 544–551. [CrossRef]
13. Münzel, T.; Gori, T.; Al-Kindi, S.; Deanfield, J.; Lelieveld, J.; Daiber, A.; Rajagopalan, S. Effects of gaseous and solid constituents of air pollution on endothelial function. *Eur. Heart J.* **2018**, *39*, 3543–3550. [CrossRef] [PubMed]
14. Li, Y.; Guan, D.; Tao, S.; Wang, X.; He, K. A review of air pollution impact on subjective well-being: Survey versus visual psychophysics. *J. Clean. Prod.* **2018**, *184*, 959–968. [CrossRef]
15. Welsch, H. Environment and happiness: Valuation of air pollution using life satisfaction data. *Ecol. Econ.* **2006**, *58*, 801–813. [CrossRef]
16. Zhang, X.; Zhang, X.; Chen, X. Happiness in the Air: How Does a Dirty Sky Affect Mental Health and Subjective Well-being? *J. Environ. Econ. Manag.* **2017**, *85*, 81–94. [CrossRef] [PubMed]
17. Roberts, J.D.; Voss, J.D.; Knight, B. The Association of Ambient Air Pollution and Physical Inactivity in the United States. *PLoS ONE* **2014**, *9*, e90143. [CrossRef]
18. Marmot, M. Social determinants of health inequalities. *Lancet* **2005**, *365*, 1099–1104. [CrossRef]
19. Dolan, P.; Peasegood, T.; White, M. Do we really know what makes us happy? A review of the economic literature on the factors associated with subjective well-being. *J. Econ. Psychol.* **2008**, *29*, 94–122. [CrossRef]
20. Downward, P.; Dawson, P.; Mills, T.C. Sports participation as an investment in (subjective) health: A time series analysis of the life course. *J. Public Health* **2016**, *38*, e504–e510. [CrossRef]
21. Humphreys, B.R.; McLeod, L.; Ruseski, J.E. Physical activity and health outcomes: Evidence from Canada. *Health Econ.* **2014**, *23*, 33–54. [CrossRef] [PubMed]
22. Downward, P.; Dawson, P. Is it Pleasure or Health from Leisure that We Benefit from Most? An Analysis of Well-Being Alternatives and Implications for Policy. *Soc. Indic. Res.* **2016**, *126*, 443–465. [CrossRef]
23. Wicker, P.; Frick, B. Intensity of physical activity and subjective well-being: An empirical analysis of the WHO recommendations. *J. Public Health* **2017**, *39*, e19–e26. [CrossRef] [PubMed]
24. An, R.; Zhang, S.; Ji, M.; Guan, C. Impact of ambient air pollution on physical activity among adults: A systematic review and meta-analysis. *Perspect. Public Health* **2018**, *138*, 111–121. [CrossRef]
25. Giles, L.V.; Koehle, M.S. The Health Effects of Exercising in Air Pollution. *Sports Med.* **2014**, *44*, 223–249. [CrossRef] [PubMed]
26. Kuskowska, K.; Rogula-Kozłowska, W.; Widziewicz, K. A preliminary study of the concentrations and mass size distributions of particulate matter in indoor sports facilities before and during athlete training. *Environ. Prot. Eng.* **2019**, *45*, 103–112. [CrossRef]
27. Reche, C.; Viana, M.; van Drooge, B.L.; Fernández, F.J.; Escribano, M.; Castaño-Vinyals, G.; Nieuwenhuijsen, M.; Adami, P.E.; Berman, S. Athletes' exposure to air pollution during World Athletics Relays: A pilot study. *Sci. Total Environ.* **2020**, *717*, 137161. [CrossRef]
28. Bowen, T.S.; Benson, A.P.; Rossiter, H.B. The Coupling of Internal and External Gas Exchange during Exercise. In *Muscle and Exercise Physiology*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2019; pp. 217–249. [CrossRef]
29. Zoladz, J.A.; Szkutnik, Z.; Grassi, B. Metabolic Transitions and Muscle Metabolic Stability: Effects of Exercise Training. In *Muscle and Exercise Physiology*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2019; pp. 391–422. [CrossRef]
30. Wasserman, K.; Hansen, J.; Sietsema, K.; Sue, D.; Stringer, W.W.; Whipp, B. *Principles of Exercise Testing and Interpretation: Including Pathophysiology and Clinical Applications*; Lippincott Williams & Wilkins: Philadelphia, PA, USA, 2011.
31. Allen, T.J. Textbook of Work Physiology: Physiological Bases of Exercise, Fourth Edition. *Physiol. Can.* **2004**, *56*, 248. [CrossRef]
32. Carling, C.; Lacombe, M.; McCall, A.; Dupont, G.; Le Gall, F.; Simpson, B.; Buchheit, M. Monitoring of Post-match Fatigue in Professional Soccer. Welcome to the Real World. *Sports Med.* **2018**, *48*, 2695–2702. [CrossRef]
33. Stølen, T.; Chamari, K.; Castagna, C.; Wisløff, U. Physiology of soccer: An update. *Sports Med.* **2005**, *35*, 501–536. [CrossRef]
34. Aquino, R.; Gonçalves, L.G.; Galgano, M.; Maria, T.S.; Rostaiser, E.; Pastor, A.; Nobari, H.; Garcia, G.R.; Moraes-Neto, M.V.; Nakamura, F.Y. Match running performance in Brazilian professional soccer players: Comparisons between successful and unsuccessful teams. *BMC Sport. Sci. Med. Rehabil.* **2021**, *13*, 93. [CrossRef] [PubMed]
35. Konefal, M.; Andrzejewski, M.; Chmura, P.; Zacharko, M.; Radzimiński, I. Physical Activity of the Right- and Left-Footed Professional Soccer Players from Symmetrical Defensive Positions. *Symmetry* **2021**, *13*, 1551. [CrossRef]

36. Andrzejewski, M.; Chmura, P.; Konefal, M.; Kowalczyk, E.; Chmura, J. Match outcome and sprinting activities in match play by elite German soccer players. *J. Sport. Med. Phys. Fit.* **2018**, *58*, 785–792. [CrossRef] [PubMed]
37. Chmura, P.; Konefal, M.; Chmura, J.; Kowalczyk, E.; Zajac, T.; Rokita, A.; Andrzejewski, M. Match outcome and running performance in different intensity ranges among elite soccer players. *Biol. Sport* **2018**, *35*, 197–203. [CrossRef] [PubMed]
38. Modric, T.; Versic, S.; Sekulic, D.; Liposek, S. Analysis of the Association between Running Performance and Game Performance Indicators in Professional Soccer Players. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2019**, *16*, 4032. [CrossRef]
39. Konefal, M.; Chmura, P.; Zajac, T.; Chmura, J.; Kowalczyk, E.; Andrzejewski, M. A New Approach to the Analysis of Pitch-Positions in Professional Soccer. *J. Hum. Kinet.* **2019**, *66*, 143–153. [CrossRef]
40. Linke, D.; Link, D.; Lames, M. Football-specific validity of TRACAB's optical video tracking systems. *PLoS ONE* **2020**, *15*, e0230179. [CrossRef]
41. Anderson, J.O.; Thundiyil, J.G.; Stolbach, A. Clearing the Air: A Review of the Effects of Particulate Matter Air Pollution on Human Health. *J. Med. Toxicol.* **2012**, *8*, 166–175. [CrossRef]
42. Zarić, N.; Spalević, V.; Bulatović, N.; Pavličević, N.; Dudić, B. Measurement of Air Pollution Parameters in Montenegro Using the Ecomar System. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 6565. [CrossRef]
43. World Health Organization. *WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM_{2.5} and PM₁₀), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide*; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2021; Available online: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329> (accessed on 30 September 2022).
44. Cox, L.A.; Popken, D.A. Should air pollution health effects assumptions be tested? Fine particulate matter and COVID-19 mortality as an example. *Glob. Epidemiol.* **2020**, *2*, 100033. [CrossRef]
45. Lichter, A.; Pestel, N.; Sommer, E. Productivity effects of air pollution: Evidence from professional soccer. *Labour Econ.* **2017**, *48*, 54–66. [CrossRef]
46. Zacharko, M.; Cichowicz, R.; Andrzejewski, M.; Chmura, P.; Kowalczyk, E.; Chmura, J.; Konefal, M. Air Pollutants Reduce the Physical Activity of Professional Soccer Players. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 12928. [CrossRef] [PubMed]
47. Maneiro, R.; Losada, J.L.; Casal, C.A.; Arda, A. The Influence of Match Status on Ball Possession in High Performance Women's Football. *Front. Psychol.* **2020**, *11*, 487. [CrossRef] [PubMed]
48. Barnes, C.; Archer, D.T.; Hogg, B.; Bush, M.; Bradley, P.S. The evolution of physical and technical performance parameters in the English Premier League. *Int. J. Sports Med.* **2014**, *35*, 1095–1100. [CrossRef] [PubMed]
49. Kocot, K.; Zejda, J.E. The relationship between ambient air pollution and life expectancy—An ecological fallacy revisited. *Prz. Epidemiol.* **2022**, *76*, 58–66. [CrossRef]
50. Traczyk, P.; Gruszecka-Kasowska, A. The Condition of Air Pollution in Krakow, Poland, in 2005–2020, with Health Risk Assessment. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, *17*, 6063. [CrossRef] [PubMed]
51. Slama, A.; Śliwczyński, A.; Woźnica-Pyzikiewicz, J.; Zdrolik, M.; Wiśnicki, B.; Kubajek, J.; Turzańska-Wieczorek, O.; Studnicki, M.; Wierzbna, W.; Franek, E. The short-term effects of air pollution on respiratory disease hospitalizations in 5 cities in Poland: Comparison of time-series and case-crossover analyses. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2020**, *27*, 24582–24590. [CrossRef]
52. Duda, H.; Rydzik, L.; Czarny, W.; Blach, W.; Görner, K.; Ambroży, T. Reaction of the Organisms of Young Football Players to City Smog in the Sports Training. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, *17*, 5510. [CrossRef]
53. Kargarfarid, M.; Shariat, A.; Shaw, B.S.; Shaw, I.; Lam, E.T.C.; Kheiri, A.; Eatemadyboroujeni, A.; Tamrin, S.B.M. Effects of polluted air on cardiovascular and hematological parameters after progressive maximal aerobic exercise. *Lung* **2015**, *193*, 275–281. [CrossRef]
54. Qin, F.; Yang, Y.; Wang, S.; Dong, Y.; Xu, M.; Wang, Z.; Zhao, J. Exercise and air pollutants exposure: A systematic review and meta-analysis. *Life Sci.* **2019**, *218*, 153–164. [CrossRef]
55. Tainio, M.; Jovanovic Andersen, Z.; Nieuwenhuijsen, M.J.; Hu, L.; de Nazelle, A.; An, R.; Garcia, L.M.T.; Goenka, S.; Zapata-Diomedes, B.; Bull, F.; et al. Air pollution, physical activity and health: A mapping review of the evidence. *Environ. Int.* **2021**, *147*, 105954. [CrossRef] [PubMed]
56. Nieuwenhuijsen, M.J. New urban models for more sustainable, liveable and healthier cities post covid19; reducing air pollution, noise and heat island effects and increasing green space and physical activity. *Environ. Int.* **2021**, *157*, 106850. [CrossRef] [PubMed]
57. Brand, C.; Dons, E.; Anaya-Boig, E.; Avila-Palencia, I.; Clark, A.; de Nazelle, A.; Gascon, M.; Gaupp-Berghausen, M.; Gerike, R.; Gotschi, T.; et al. The climate change mitigation effects of daily active travel in cities. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* **2021**, *93*, 102764. [CrossRef]
58. Moreno, C.; Allam, Z.; Chabaud, D.; Gall, C.; Pralogn, P. Introducing the “15-Minute City”: Sustainability, Resilience and Place Identity in Future Post-Pandemic Cities. *Smart Cities* **2021**, *4*, 93–111. [CrossRef]
59. Nieuwenhuijsen, M.J.; Khreis, H. Car free cities: Pathway to healthy urban living. *Environ. Int.* **2016**, *94*, 251–262. [CrossRef]

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

Załącznik nr 4

Wrocław, 25.02.2023 r.

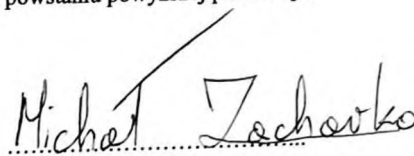
mgr Michał Zacharko
Akademia Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Motoryczności Człowieka
al. Ignacego Jana Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław
AUTOR PRACY

Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy Zacharko M., Konefał M., Radziwiński Ł., Chmura P., Błażejczyk K., Chmura J., & Andrzejewski M. (2022). Direction of travel of time zones crossed and results achieved by soccer players. The road from the 2018 FIFA World Cup to UEFA EURO 2020. *Research in Sports Medicine*, 30(2):145-155. <https://doi:10.1080/15438627.2020.1853545> mój udział polegał na:

- | | |
|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> koncepcja pracy | <input checked="" type="checkbox"/> redagowanie publikacji |
| <input checked="" type="checkbox"/> zaplanowanie badań wybór metodyki | <input checked="" type="checkbox"/> zbieranie danych |
| <input checked="" type="checkbox"/> prowadzenie badań | <input checked="" type="checkbox"/> graficzne przedstawienie wyników |
| <input checked="" type="checkbox"/> analiza statystyczna | <input checked="" type="checkbox"/> zbieranie piśmiennictwa |
| <input checked="" type="checkbox"/> interpretacja wyników i opracowanie wniosków | <input checked="" type="checkbox"/> korekta pracy przed złożeniem do druku |
| <input type="checkbox"/> konsultacja | <input type="checkbox"/> inne: |

Oświadczam, że miałem wiodący udział w powstaniu powyższej publikacji.


.....
Podpis kandydata

Wrocław, 25.02.2023 r.


mgr Michał Zacharko
Akademia Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Motoryczności Człowieka
al. Ignacego Jana Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław
AUTOR PRACY

Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy Zacharko, M., Cichowicz, R., Andrzejewski, M., Chmura, P., Kowalczyk, E., Chmura, J., & Konefał, M. (2021). Air Pollutants Reduce the Physical Activity of Professional Soccer Players. *International journal of environmental research and public health*, 18(24), 12928. <https://doi.org/10.3390/ijerph182412928> mój udział polegał na:

- | | |
|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> koncepcja pracy | <input checked="" type="checkbox"/> redagowanie publikacji |
| <input checked="" type="checkbox"/> zaplanowanie badań wybór metodyki | <input checked="" type="checkbox"/> zbieranie danych |
| <input checked="" type="checkbox"/> prowadzenie badań | <input checked="" type="checkbox"/> graficzne przedstawienie wyników |
| <input checked="" type="checkbox"/> analiza statystyczna | <input checked="" type="checkbox"/> zbieranie piśmiennictwa |
| <input checked="" type="checkbox"/> interpretacja wyników i opracowanie wniosków | <input checked="" type="checkbox"/> korekta pracy przed złożeniem do druku |
| <input type="checkbox"/> konsultacja | <input type="checkbox"/> inne: |

Oświadczam, że miałem wiodący udział w powstaniu powyższej publikacji.


.....
Podpis kandydata

Wrocław, 25.02.2023 r.

mgr Michał Zacharko
Akademia Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Motoryczności Człowieka
al. Ignacego Jana Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław
AUTOR PRACY

Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy Zacharko, M., Cichowicz, R., Depta, A., Chmura, P., & Konefał, M. (2023). High Levels of PM10 Reduce the Physical Activity of Professional Soccer Players. *International journal of environmental research and public health*, 20(1), 692. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010692> mój udział polegał na:

- | | |
|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> koncepcja pracy | <input checked="" type="checkbox"/> redagowanie publikacji |
| <input checked="" type="checkbox"/> zaplanowanie badań wybór metodyki | <input checked="" type="checkbox"/> zbieranie danych |
| <input checked="" type="checkbox"/> prowadzenie badań | <input checked="" type="checkbox"/> graficzne przedstawienie wyników |
| <input checked="" type="checkbox"/> analiza statystyczna | <input checked="" type="checkbox"/> zbieranie piśmiennictwa |
| <input checked="" type="checkbox"/> interpretacja wyników i opracowanie wniosków | <input checked="" type="checkbox"/> korekta pracy przed złożeniem do druku |
| <input type="checkbox"/> konsultacja | <input type="checkbox"/> inne: |

Oświadczam, że miałem wiodący udział w powstaniu powyższej publikacji.


Podpis kandydata

Wrocław, 25.02.2023 r.

prof. dr hab. Jan Chmura
Akademia Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Motoryczności Człowieka
al. Ignacego Jana Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław
WSPÓLAUTOR PRACY

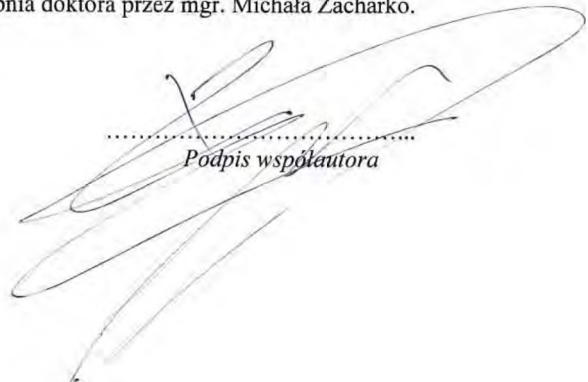
Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy Zacharko M., Konefał M., Radzimiński Ł., Chmura P., Błażejczyk K., Chmura J., & Andrzejewski M. (2022). Direction of travel of time zones crossed and results achieved by soccer players. The road from the 2018 FIFA World Cup to UEFA EURO 2020. *Research in Sports Medicine*, 30(2):145-155. <https://doi:10.1080/15438627.2020.1853545> mój udział polegał na:

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> koncepcja pracy | <input type="checkbox"/> redagowanie publikacji |
| <input type="checkbox"/> zaplanowanie badań wybór metodyki | <input type="checkbox"/> zbieranie danych |
| <input type="checkbox"/> prowadzenie badań | <input type="checkbox"/> graficzne przedstawienie wyników |
| <input type="checkbox"/> analiza statystyczna | <input type="checkbox"/> zbieranie piśmiennictwa |
| <input type="checkbox"/> interpretacja wyników i opracowanie wniosków | <input checked="" type="checkbox"/> korekta pracy przed złożeniem do druku |
| <input checked="" type="checkbox"/> konsultacja | <input type="checkbox"/> inne: |

Przyjmuję do wiadomości, że powyższa praca jako część rozprawy doktorskiej będzie podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora przez mgr. Michała Zacharko.

.....
Podpis współautora



Wrocław, 25.02.2023 r.

prof. dr hab. Jan Chmura
Akademia Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Motoryczności Człowieka
al. Ignacego Jana Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław
WSPÓLAUTOR PRACY


Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy Zacharko, M., Cichowicz, R., Andrzejewski, M., Chmura, P., Kowalczyk, E., Chmura, J., & Konefał, M. (2021). Air Pollutants Reduce the Physical Activity of Professional Soccer Players. *International journal of environmental research and public health*, 18(24), 12928. <https://doi.org/10.3390/ijerph182412928> mój udział polegał na:

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> koncepcja pracy | <input type="checkbox"/> redagowanie publikacji |
| <input type="checkbox"/> zaplanowanie badań wybór metodyki | <input type="checkbox"/> zbieranie danych |
| <input type="checkbox"/> prowadzenie badań | <input type="checkbox"/> graficzne przedstawienie wyników |
| <input type="checkbox"/> analiza statystyczna | <input type="checkbox"/> zbieranie piśmiennictwa |
| <input type="checkbox"/> interpretacja wyników i opracowanie wniosków | <input checked="" type="checkbox"/> korekta pracy przed złożeniem do druku |
| <input checked="" type="checkbox"/> konsultacja | <input type="checkbox"/> inne: |

Przyjmuję do wiadomości, że powyższa praca jako część rozprawy doktorskiej będzie podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora przez mgr. Michała Zacharko.

.....
Podpis współautóra



Warszawa, 25.02.2023 r.

prof. dr hab. Krzysztof Błażejczyk
Polska Akademia Nauk
Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania
Zakład Badań Klimatu
ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa
WSPÓLAUTOR PRACY

Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy Zacharko M., Konefal M., Radzimiński Ł., Chmura P., Błażejczyk K., Chmura J., & Andrzejewski M. (2022). Direction of travel of time zones crossed and results achieved by soccer players. The road from the 2018 FIFA World Cup to UEFA EURO 2020. *Research in Sports Medicine*, 30(2): 145-155. <https://doi.org/10.1080/15438627.2020.1853545> mój udział polegał na:

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> koncepcja pracy | <input type="checkbox"/> redagowanie publikacji |
| <input type="checkbox"/> zaplanowanie badań wybór metodyki | <input type="checkbox"/> zbieranie danych |
| <input type="checkbox"/> prowadzenie badań | <input type="checkbox"/> graficzne przedstawienie wyników |
| <input type="checkbox"/> analiza statystyczna | <input type="checkbox"/> zbieranie piśmiennictwa |
| <input type="checkbox"/> interpretacja wyników i opracowanie wniosków | <input checked="" type="checkbox"/> korekta pracy przed złożeniem do druku |
| <input checked="" type="checkbox"/> konsultacja | <input type="checkbox"/> inne: |

Przyjmuję do wiadomości, że powyższa praca jako część rozprawy doktorskiej będzie podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora przez mgr. Michała Zacharko.

Podpis współautora

Wrocław, 25.02.2023 r.

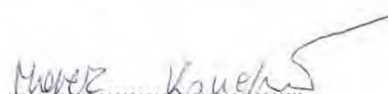
dr hab. Marek Konefał, prof. AWF
Akademia Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Motoryczności Człowieka
al. Ignacego Jana Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław
WSPÓLAUTOR PRACY

Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy Zacharko M., Konefał M., Radzimiński Ł., Chmura P., Błażejczyk K., Chmura J., & Andrzejewski M. (2022). Direction of travel of time zones crossed and results achieved by soccer players. The road from the 2018 FIFA World Cup to UEFA EURO 2020. *Research in Sports Medicine*, 30(2):145-155. <https://doi:10.1080/15438627.2020.1853545> mój udział polegał na:

- | | |
|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> koncepcja pracy | <input checked="" type="checkbox"/> redagowanie publikacji |
| <input checked="" type="checkbox"/> zaplanowanie badań wybór metodyki | <input type="checkbox"/> zbieranie danych |
| <input type="checkbox"/> prowadzenie badań | <input type="checkbox"/> graficzne przedstawienie wyników |
| <input checked="" type="checkbox"/> analiza statystyczna | <input type="checkbox"/> zbieranie piśmiennictwa |
| <input checked="" type="checkbox"/> interpretacja wyników i opracowanie wniosków | <input checked="" type="checkbox"/> korekta pracy przed złożeniem do druku |
| <input type="checkbox"/> konsultacja | <input type="checkbox"/> inne: |

Przyjmuję do wiadomości, że powyższa praca jako część rozprawy doktorskiej będzie podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora przez mgr. Michała Zacharko.


Podpis współautóra

Wrocław, 25.02.2023 r.

dr hab. Marek Konefał, prof. AWF
Akademia Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Motoryczności Człowieka
al. Ignacego Jana Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław
WSPÓLAUTOR PRACY

Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy Zacharko, M., Cichowicz, R., Andrzejewski, M., Chmura, P., Kowalczuk, E., Chmura, J., & Konefał, M. (2021). Air Pollutants Reduce the Physical Activity of Professional Soccer Players. *International journal of environmental research and public health*, 18(24), 12928. <https://doi.org/10.3390/ijerph182412928> mój udział polegał na:

- | | |
|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> koncepcja pracy | <input checked="" type="checkbox"/> redagowanie publikacji |
| <input checked="" type="checkbox"/> zaplanowanie badań wybór metodyki | <input type="checkbox"/> zbieranie danych |
| <input type="checkbox"/> prowadzenie badań | <input type="checkbox"/> graficzne przedstawienie wyników |
| <input checked="" type="checkbox"/> analiza statystyczna | <input type="checkbox"/> zbieranie piśmiennictwa |
| <input checked="" type="checkbox"/> interpretacja wyników i opracowanie wniosków | <input checked="" type="checkbox"/> korekta pracy przed złożeniem do druku |
| <input type="checkbox"/> konsultacja | <input type="checkbox"/> inne: |

Przyjmuję do wiadomości, że powyższa praca jako część rozprawy doktorskiej będzie podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora przez mgr. Michała Zacharko.

Marek Konefał
.....
Podpis współautora

Wrocław, 25.02.2023 r.


dr hab. Marek Konefał, prof. AWF
Akademia Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Motoryczności Człowieka
al. Ignacego Jana Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław
WSPÓŁAUTOR PRACY

Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy Zacharko, M., Cichowicz, R., Depta, A., Chmura, P., & Konefał, M. (2023). High Levels of PM10 Reduce the Physical Activity of Professional Soccer Players. *International journal of environmental research and public health*, 20(1), 692. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010692> mój udział polegał na:

- | | |
|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> koncepcja pracy | <input checked="" type="checkbox"/> redagowanie publikacji |
| <input checked="" type="checkbox"/> zaplanowanie badań wybór metodyki | <input type="checkbox"/> zbieranie danych |
| <input type="checkbox"/> prowadzenie badań | <input type="checkbox"/> graficzne przedstawienie wyników |
| <input type="checkbox"/> analiza statystyczna | <input type="checkbox"/> zbieranie piśmiennictwa |
| <input checked="" type="checkbox"/> interpretacja wyników i opracowanie wniosków | <input checked="" type="checkbox"/> korekta pracy przed złożeniem do druku |
| <input type="checkbox"/> konsultacja | <input type="checkbox"/> inne: |

Przyjmuję do wiadomości, że powyższa praca jako część rozprawy doktorskiej będzie podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora przez mgr. Michała Zacharko.


.....
Podpis współautora

Wrocław, 25.02.2023 r.

dr hab. Paweł Chmura, prof. AWF
Akademia Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Zespołowych Gier Sportowych
al. Ignacego Jana Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław
WSPÓŁAUTOR PRACY

Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy Zacharko M., Konefał M., Radziwiński Ł., Chmura P., Błażejczyk K., Chmura J., & Andrzejewski M. (2022). Direction of travel of time zones crossed and results achieved by soccer players. The road from the 2018 FIFA World Cup to UEFA EURO 2020. *Research in Sports Medicine*, 30(2):145-155. <https://doi.org/10.1080/15438627.2020.1853545> mój udział polegał na:

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> koncepcja pracy | <input type="checkbox"/> redagowanie publikacji |
| <input type="checkbox"/> zaplanowanie badań wybór metodyki | <input type="checkbox"/> zbieranie danych |
| <input type="checkbox"/> prowadzenie badań | <input type="checkbox"/> graficzne przedstawienie wyników |
| <input type="checkbox"/> analiza statystyczna | <input type="checkbox"/> zbieranie piśmiennictwa |
| <input type="checkbox"/> interpretacja wyników i opracowanie wniosków | <input checked="" type="checkbox"/> korekta pracy przed złożeniem do druku |
| <input checked="" type="checkbox"/> konsultacja | <input type="checkbox"/> inne: |

Przyjmuję do wiadomości, że powyższa praca jako część rozprawy doktorskiej będzie podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora przez mgr. Michała Zacharko.



Podpis współautora

Wrocław, 25.02.2023 r.

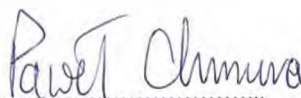
dr hab. Paweł Chmura, prof. AWF
Akademia Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Zespołowych Gier Sportowych
al. Ignacego Jana Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław
WSPÓŁAUTOR PRACY

Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy Zacharko, M., Cichowicz, R., Andrzejewski, M., Chmura, P., Kowalczuk, E., Chmura, J., & Konefał, M. (2021). Air Pollutants Reduce the Physical Activity of Professional Soccer Players. *International journal of environmental research and public health*, 18(24), 12928. <https://doi.org/10.3390/ijerph182412928> mój udział polegał na:

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> koncepcja pracy | <input type="checkbox"/> redagowanie publikacji |
| <input type="checkbox"/> zaplanowanie badań wybór metodyki | <input type="checkbox"/> zbieranie danych |
| <input type="checkbox"/> prowadzenie badań | <input type="checkbox"/> graficzne przedstawienie wyników |
| <input type="checkbox"/> analiza statystyczna | <input type="checkbox"/> zbieranie piśmiennictwa |
| <input type="checkbox"/> interpretacja wyników i opracowanie wniosków | <input checked="" type="checkbox"/> korekta pracy przed złożeniem do druku |
| <input checked="" type="checkbox"/> konsultacja | <input type="checkbox"/> inne: |

Przyjmuję do wiadomości, że powyższa praca jako część rozprawy doktorskiej będzie podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora przez mgr. Michała Zacharko.



Podpis współautora

Wrocław, 25.02.2023 r.

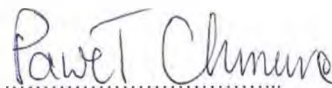
dr hab. Paweł Chmura, prof. AWF
Akademia Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Zespołowych Gier Sportowych
al. Ignacego Jana Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław
WSPÓŁAUTOR PRACY

Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy Zacharko, M., Cichowicz, R., Depta, A., Chmura, P., & Konefał, M. (2023). High Levels of PM10 Reduce the Physical Activity of Professional Soccer Players. *International journal of environmental research and public health*, 20(1), 692. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010692> mój udział polegał na:

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> koncepcja pracy | <input type="checkbox"/> redagowanie publikacji |
| <input type="checkbox"/> zaplanowanie badań wybór metodyki | <input type="checkbox"/> zbieranie danych |
| <input type="checkbox"/> prowadzenie badań | <input type="checkbox"/> graficzne przedstawienie wyników |
| <input type="checkbox"/> analiza statystyczna | <input type="checkbox"/> zbieranie piśmiennictwa |
| <input type="checkbox"/> interpretacja wyników i opracowanie wniosków | <input checked="" type="checkbox"/> korekta pracy przed złożeniem do druku |
| <input checked="" type="checkbox"/> konsultacja | <input type="checkbox"/> inne: |

Przyjmuję do wiadomości, że powyższa praca jako część rozprawy doktorskiej będzie podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora przez mgr. Michała Zacharko.



Podpis współautora

Lódź, 25.02.2023 r.

dr hab. inż. Robert Cichowicz, prof. uczelni
Politechnika Łódzka
Instytut Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych
Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska
ul. Politechniki 6, 90-924 Łódź
WSPÓLAUTOR PRACY

Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy Zacharko, M., Cichowicz, R., Andrzejewski, M., Chmura, P., Kowalczyk, E., Chmura, J., & Konefal, M. (2021). Air Pollutants Reduce the Physical Activity of Professional Soccer Playets. *International journal of environmental research and public health*, 18(24), 12928. <https://doi.org/10.3390/ijerph182412928> mój udział polegał na:

- | | |
|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> koncepcja pracy | <input type="checkbox"/> redagowanie publikacji |
| <input checked="" type="checkbox"/> zaplanowanie badań wybór metodyki | <input type="checkbox"/> zbieranie danych |
| <input type="checkbox"/> prowadzenie badań | <input type="checkbox"/> graficzne przedstawienie wyników |
| <input type="checkbox"/> analiza statystyczna | <input type="checkbox"/> zbieranie piśmiennictwa |
| <input type="checkbox"/> interpretacja wyników i opracowanie wniosków | <input checked="" type="checkbox"/> korekta pracy przed złożeniem do druku |
| <input type="checkbox"/> konsultacja | <input type="checkbox"/> inne: |

Przyjmuję do wiadomości, że powyższa praca jako część rozprawy doktorskiej będzie podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora przez mgr. Michała Zacharko.


Podpis współautora

Łódź, 25.02.2023 r.

dr hab. inż. Robert Cichowicz, prof. uczelni
Politechnika Łódzka
Instytut Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych
Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska
ul. Politechniki 6, 90-924 Łódź
WSPÓLAUTOR PRACY

Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy Zacharko, M., Cichowicz, R., Depta, A., Chmura, P., & Konefal, M. (2023). High Levels of PM10 Reduce the Physical Activity of Professional Soccer Players. *International journal of environmental research and public health*, 20(1), 692. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010692> mój udział polegał na:

- | | |
|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> koncepcja pracy | <input type="checkbox"/> redagowanie publikacji |
| <input checked="" type="checkbox"/> zaplanowanie badań wybór metodyki | <input checked="" type="checkbox"/> zbieranie danych |
| <input type="checkbox"/> prowadzenie badań | <input type="checkbox"/> graficzne przedstawienie wyników |
| <input type="checkbox"/> analiza statystyczna | <input type="checkbox"/> zbieranie piśmiennictwa |
| <input type="checkbox"/> interpretacja wyników i opracowanie wniosków | <input checked="" type="checkbox"/> korekta pracy przed złożeniem do druku |
| <input type="checkbox"/> konsultacja | <input type="checkbox"/> inne: |

Przyjmuję do wiadomości, że powyższa praca jako część rozprawy doktorskiej będzie podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora przez mgr. Michała Zacharko.


.....
Podpis współautora

Poznań, 25.02.2023 r.

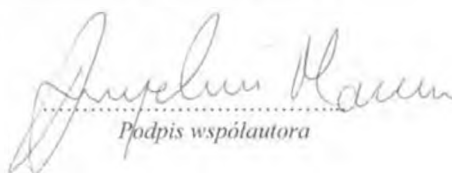
prof. AWF dr hab. Marcin Andrzejewski,
Akademia Wychowania Fizycznego im. Eugeniusza Piaseckiego w Poznaniu
Katedra Turystyki i Rekreacji
Zakład Metodyki Rekreacji
ul. Królowej Jadwigi 27/39, 61-871 Poznań
WSPÓLAUTOR PRACY

Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy Zacharko M., Konefal M., Radzimiński Ł., Chmura P., Błażejczyk K., Chmura J., & Andrzejewski M. (2022). Direction of travel of time zones crossed and results achieved by soccer players. The road from the 2018 FIFA World Cup to UEFA EURO 2020. *Research in Sports Medicine*. 30(2):145-155. <https://doi.org/10.1080/15438627.2020.1853545> mój udział polegał na:

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> koncepcja pracy | <input type="checkbox"/> redagowanie publikacji |
| <input type="checkbox"/> zaplanowanie badań wybór metodyki | <input type="checkbox"/> zbieranie danych |
| <input type="checkbox"/> prowadzenie badań | <input type="checkbox"/> graficzne przedstawienie wyników |
| <input type="checkbox"/> analiza statystyczna | <input type="checkbox"/> zbieranie piśmiennictwa |
| <input type="checkbox"/> interpretacja wyników i opracowanie wniosków | <input checked="" type="checkbox"/> korekta pracy przed złożeniem do druku |
| <input checked="" type="checkbox"/> konsultacja | <input type="checkbox"/> inne: |

Przyjmuję do wiadomości, że powyższa praca jako część rozprawy doktorskiej będzie podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora przez mgr. Michała Zacharko.


Podpis współautora

Poznań, 25.02.2023 r.

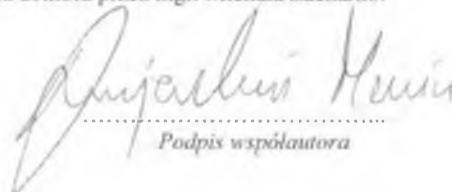
prof. AWF dr hab. Marcin Andrzejewski,
Akademia Wychowania Fizycznego im. Eugeniusza Piaseckiego w Poznaniu
Katedra Turystyki i Rekreacji
Zakład Metodyki Rekreacji
ul. Królowej Jadwigi 27/39, 61-871 Poznań
WSPÓLAUTOR PRACY

Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy Zacharko, M., Cichowicz, R., Andrzejewski, M., Chmura, P., Kowalczyk, E., Chmura, J., & Konefal, M. (2021). Air Pollutants Reduce the Physical Activity of Professional Soccer Players. *International journal of environmental research and public health*, 18(24), 12928. <https://doi.org/10.3390/ijerph182412928> mój udział polegał na:

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> koncepcja pracy | <input type="checkbox"/> redagowanie publikacji |
| <input type="checkbox"/> zaplanowanie badań wybór metodyki | <input type="checkbox"/> zbieranie danych |
| <input type="checkbox"/> prowadzenie badań | <input type="checkbox"/> graficzne przedstawienie wyników |
| <input type="checkbox"/> analiza statystyczna | <input type="checkbox"/> zbieranie piśmiennictwa |
| <input type="checkbox"/> interpretacja wyników i opracowanie wniosków | <input checked="" type="checkbox"/> korekta pracy przed złożeniem do druku |
| <input checked="" type="checkbox"/> konsultacja | <input type="checkbox"/> inne: |

Przyjmuję do wiadomości, że powyższa praca jako część rozprawy doktorskiej będzie podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora przez mgr. Michała Zacharko.


Podpis współautora

Gdańsk, 25.02.2023 r.

dr Lukasz Radziwiński
Akademia Wychowania Fizycznego i Sportu im. Jędrzeja Śniadeckiego w Gdańsku
Katedra Zdrowia i Nauk Przyrodniczych
Zakład Fizjologii
ul. Kazimierza Górskiego 1, 80-336 Gdańsk
WSPÓLAUTOR PRACY

Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy Zacharko M., Konefał M., Radziwiński Ł., Chmura P., Błażejczyk K., Chmura J., & Andrzejewski M. (2022). Direction of travel of time zones crossed and results achieved by soccer players. The road from the 2018 FIFA World Cup to UEFA EURO 2020. *Research in Sports Medicine*, 30(2):145-155. <https://doi.org/10.1080/15438627.2020.1853545> mój udział polegał na:

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> koncepcja pracy | <input type="checkbox"/> redagowanie publikacji |
| <input type="checkbox"/> zaplanowanie badań wybór metodyki | <input type="checkbox"/> zbieranie danych |
| <input type="checkbox"/> prowadzenie badań | <input type="checkbox"/> graficzne przedstawienie wyników |
| <input type="checkbox"/> analiza statystyczna | <input type="checkbox"/> zbieranie piśmiennictwa |
| <input type="checkbox"/> interpretacja wyników i opracowanie wniosków | <input checked="" type="checkbox"/> korekta pracy przed złożeniem do druku |
| <input checked="" type="checkbox"/> konsultacja | <input type="checkbox"/> inne: |

Przyjmuję do wiadomości, że powyższa praca jako część rozprawy doktorskiej będzie podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora przez mgr. Michała Zacharko.



.....
Podpis współautora

Lódź, 25.02.2023 r.

dr Adam Depta
Politechnika Łódzka
Instytut Zarządzania
Wydział Organizacji i Zarządzania
ul. Wólczańska 221, 93-005 Łódź
WSPÓLAUTOR PRACY

Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy Zacharko, M., Cichowicz, R., Depta, A., Cimura, P., & Konefal, M. (2023). High Levels of PM10 Reduce the Physical Activity of Professional Soccer Players. *International journal of environmental research and public health*, 20(1), 692. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010692> mój udział polegał na:

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> koncepcja pracy | <input type="checkbox"/> redagowanie publikacji |
| <input type="checkbox"/> zaplanowanie badań wybór metodyki | <input type="checkbox"/> zbieranie danych |
| <input type="checkbox"/> prowadzenie badań | <input type="checkbox"/> graficzne przedstawienie wyników |
| <input checked="" type="checkbox"/> analiza statystyczna | <input type="checkbox"/> zbieranie piśmiennictwa |
| <input type="checkbox"/> interpretacja wyników i opracowanie wniosków | <input checked="" type="checkbox"/> korekta pracy przed złożeniem do druku |
| <input type="checkbox"/> konsultacja | <input type="checkbox"/> inne: |

Przyjmuję do wiadomości, że powyższa praca jako część rozprawy doktorskiej będzie podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora przez mgr. Michała Zacharko.


Podpis współautora

Hannover, 25.02.2023 r.

Trener Edward Kowalczyk
Hannover 96
Robert-Enke-Strasse 1, 30169 Hannover
WSPÓLAUTOR PRACY

Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy Zacharko, M., Cichowicz, R., Andrzejewski, M., Chmura, P., Kowalczyk, E., Chmura, J., & Konefał, M. (2021). Air Pollutants Reduce the Physical Activity of Professional Soccer Players. *International journal of environmental research and public health*, 18(24), 12928. <https://doi.org/10.3390/ijerph182412928> mój udział polegał na:

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> koncepcja pracy | <input type="checkbox"/> redagowanie publikacji |
| <input type="checkbox"/> zaplanowanie badań wybór metodyki | <input checked="" type="checkbox"/> zbieranie danych |
| <input type="checkbox"/> prowadzenie badań | <input type="checkbox"/> graficzne przedstawienie wyników |
| <input type="checkbox"/> analiza statystyczna | <input type="checkbox"/> zbieranie piśmiennictwa |
| <input type="checkbox"/> interpretacja wyników i opracowanie wniosków | <input type="checkbox"/> korekta pracy przed złożeniem do druku |
| <input type="checkbox"/> konsultacja | <input type="checkbox"/> inne: |

Przyjmuję do wiadomości, że powyższa praca jako część rozprawy doktorskiej będzie podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora przez mgr. Michała Zacharko.



.....
Podpis współautora