

АЕРОДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОФІЦІЙНОГО М'ЯЧА ЧЕМПІОНАТУ СВІТУ З ФУТБОЛУ 2026 РОКУ «TRIONDA» ТА ЇХНІЙ ВПЛИВ НА ГРУ

Нестеренко Наталія,

кандидат наук з фізичного виховання та спорту, доцент,
Український державний університет науки і технологій,
ННІ «Придніпровська державна академія фізичної культури і спорту»,
м. Дніпро, вул. Набережна Перемоги, 10, 49094, Україна;

<https://orcid.org/0000-0002-7800-8833>;

email: natalya7373@ukr.net

Яковенко Артем,

кандидат наук з фізичного виховання та спорту, доцент,
Український державний університет науки і технологій,
ННІ «Придніпровська державна академія фізичної культури і спорту»,
м. Дніпро, вул. Набережна Перемоги, 10, 49094, Україна;

<https://orcid.org/0000-0003-0338-8437>;

email: yakovenkoartem2012@gmail.com

Перепелиця Олександр,

Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла
Коцюбинського, м. Вінниця, вул. Острозького, 32, 21001, Україна;

<https://orcid.org/0000-0003-1212-0491>;

email: ktmfvs@ukr.net

Анотація. *Актуальність.* У статті розглянуто аеродинамічні характеристики офіційного м'яча Чемпіонату світу з футболу 2026 року «Trionda» та їхній вплив на якість гри. Визначено, що конструкція «Trionda», яка складається з чотирьох термічно з'єднаних панелей із глибокими канавками та мікротекстурою, забезпечує вищу ефективну шорсткість поверхні порівняно з попередніми моделями. Встановлено, що криза опору для «Trionda» настає при нижчих швидкостях (≈ 43 км/год), ніж для м'ячів «Al Rihla», «Telstar 18» та «Brazuca», що робить його траєкторію більш стабільною та передбачуваною в діапазоні швидкостей, характерних для кутових і штрафних ударів. Водночас на високих швидкостях польоту «Trionda» демонструє вищий коефіцієнт лобового

опору ($\approx 0,22$), що за даними симуляцій траєкторій може незначно скорочувати дальність польоту. **Мета дослідження** – визначити аеродинамічні особливості м'яча «Trionda» та оцінити їхній вплив на ігрові показники, тактичні схеми та сприйняття м'яча гравцями. **Матеріал та методи дослідження:** аналіз та узагальнення наукових публікацій за темою дослідження; аналіз даних аеродинамічних випробувань (вимірювання коефіцієнтів лобового опору, підйимальної сили та бічної сили, аналіз спектральної густини потужності), отриманих в аеродинамічній трубі; інтерпретація результатів комп'ютерного моделювання траєкторій польоту м'яча. **Результати дослідження.** Узагальнено ключові аеродинамічні параметри «Trionda» на основі незалежних досліджень: найнижча швидкість кризи опору; стабільний коефіцієнт опору у широкому діапазоні швидкостей; підвищена турбулентність у сліді за м'ячем порівняно з «Al Rihla»; виявлено залежність аеродинамічних характеристик від орієнтації панелей. Визначено, що балансування вбудованого сенсора противагами забезпечує рівномірний розподіл маси та не впливає на аеродинамічну симетрію. Встановлено, що «Trionda» створює систематичну проблему для воротарів при відбитті ударів вище рівня плечей: у 78 % випадків голів з дальніх дистанцій воротарі торкалися м'яча, але не змогли відвести його вбік. За даними вбудованого сенсора, найшвидший удар турніру зафіксовано в сенегальця Папе Гугея – 131,94 км/год. **Висновки.** Інженерні рішення, застосовані в дизайні «Trionda», забезпечили більш стабільний та передбачуваний політ порівняно з попередніми моделями. Це підвищує якість гри та зменшує вплив випадковості. Розроблена методологія дослідження аеродинаміки спортивних снарядів може бути використана для аналізу майбутніх моделей м'ячів.

Ключові слова: футбольний м'яч, аеродинаміка, коефіцієнт лобового опору, криза опору, «Trionda», Чемпіонат світу з футболу 2026.

AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE OFFICIAL 2026 FIFA WORLD CUP BALL «TRIONDA» AND THEIR IMPACT ON THE GAME

Nesterenko Nataliia, Yakovenko Artem, Perepelytsia Oleksandr

Abstract. Topicality. The article examines the aerodynamic characteristics of the official 2026 FIFA World Cup ball «Trionda» and their impact on the quality of the game. The design of «Trionda», which consists of four thermally bonded panels with deep grooves and microtexture, provides higher effective surface roughness compared to previous models. The drag crisis for «Trionda» occurs at lower speeds (≈ 43 km/h) than for «Al Rihla», «Telstar 18» and «Brazuca», making its trajectory more stable and predictable in the speed range typical for corner kicks and free kicks. At the same time, at high flight speeds «Trionda» demonstrates a higher drag

coefficient ($\approx 0,22$), which, according to trajectory simulations, may slightly reduce flight range. **The purpose of the study** is to determine the aerodynamic features of the «Trionda» ball and assess their impact on game performance, tactical patterns and players' perception of the ball. **Material and methods:** analysis and synthesis of scientific publications on the research topic; analysis of aerodynamic test data (measurement of drag, lift and side force coefficients, analysis of power spectral density) obtained in a wind tunnel; interpretation of the results of computer simulation of ball flight trajectories. **Research results.** The key aerodynamic parameters of «Trionda» are summarised on the basis of independent studies: the lowest drag crisis speed; stable drag coefficient over a wide speed range; increased turbulence in the wake of the ball compared to «Al Rihla»; a dependence of aerodynamic characteristics on panel orientation was revealed. It was determined that balancing the built-in sensor with counterweights ensures uniform mass distribution and does not affect aerodynamic symmetry. It was found that «Trionda» creates a systematic problem for goalkeepers when saving shots above shoulder level: in 78 % of goals from long distances, goalkeepers touched the ball but could not deflect it wide. According to the built-in sensor data, the fastest shot of the tournament was recorded by Senegal's Pape Gueye – 131,94 km/h. **Conclusions.** The engineering solutions applied in the design of «Trionda» have provided a more stable and predictable flight compared to previous models. This improves the quality of the game and reduces the influence of randomness. The developed methodology for studying the aerodynamics of sports equipment can be used for the analysis of future ball models.

Keywords: football, aerodynamics, drag coefficient, drag crisis, «Trionda», 2026 FIFA World Cup.

Постановка проблеми. Дизайн офіційного м'яча на чемпіонаті світу з футболу завжди є предметом пильної уваги та дискусій, оскільки він безпосередньо впливає на якість гри та результати матчів. Від аеродинамічних характеристик м'яча залежать траєкторія польоту, поведінка при ударах різної сили та обертання, що, у свою чергу, визначає складність гри для воротарів і польових гравців (Kiritidis, & Leinweber, 2018). Кожен новий офіційний м'яч ФІФА проходить тривалий процес тестування, але навіть найретельніші лабораторні випробування не завжди гарантують схвалення професійних футболістів, які оцінюють його в реальних ігрових умовах (Goff, & Hong, 2015).

Історичні приклади свідчать про те, що невдалий аеродинамічний дизайн може суттєво вплинути на якість гри. Найбільш показовим є м'яч «Jabulani», який використовувався на чемпіонаті світу 2010 року в Південно-Африканській Республіці. Виготовлений з восьми термічно з'єднаних панелей, «Jabulani» мав відносно гладку поверхню з несиметричними канавками (Goff, & Hong, 2015).

Його аеродинамічна особливість полягала в тому, що криза опору – різка зміна коефіцієнта лобового опору – відбувалася в діапазоні швидкостей 79-97 км/год (Goff, & Hong, 2015; Kiratidis, & Leinweber, 2018). Цей діапазон характерний для польоту м'яча після сильних ударів зі стандартних положень, таких як штрафні та кутові удари (Passmore, Rogers, Tuplin, Harland, Lucas, & Holmes, 2012).

У результаті, коли швидкість м'яча досягала значень, за яких коефіцієнт опору різко зростає, виникали непередбачувані відхилення траєкторії (Goff, & Hong, 2015; Kiratidis, & Leinweber, 2018). Це явище створювало значні труднощі для воротарів, які не могли передбачити кінцеву траєкторію польоту м'яча, і для польових гравців, які не могли точно розраховувати свої удари. Критика «*Jabulani*» з боку гравців та експертів була настільки гострою, що ФІФА та Adidas були змушені переглянути підходи до проєктування м'ячів у наступних турнірах (Goff, & Hong, 2015; Kiratidis, & Leinweber, 2018).

У відповідь на проблеми, виявлені з «*Jabulani*», інженери Adidas розробили більш передбачувані м'ячі. Починаючи з «*Brazuca*» (2014), «*Telstar 18*» (2018) та «*Al Rihla*» (2022), було застосовано стратегію збільшення ефективної шорсткості поверхні (Goff, Hong, & Asai, 2018; Kiratidis, & Leinweber, 2018). Це досягалося за рахунок подовження загальної довжини швів (у «*Brazuca*» вона була на 68 % більшою, ніж у «*Jabulani*»), використання глибших канавок та мікротекстури на панелях (Hong, & Asai, 2019; Hong, & Asai, 2020). Ці зміни зсунули кризу опору в зону нижчих швидкостей, зробивши траєкторію польоту більш стабільною в діапазоні швидкостей, характерних для більшості ударів у грі (Goff, Hong, & Asai, 2018; Kiratidis, & Leinweber, 2018). На думку Ward, M., Passmore, M. A., Spencer, Hanson, & Lucas (2023), рельєф поверхні є визначальним фактором для аеродинамічної поведінки футбольних м'ячів.

Новим етапом еволюції став м'яч «*Trionda*», офіційний м'яч Чемпіонату світу з футболу 2026 року. Його ключова особливість – конструкція з чотирьох термічно з'єднаних панелей, що є найменшою кількістю панелей в історії чемпіонатів світу (FIFA, 2025). Така конструкція значно скорочує загальну довжину швів, що потенційно робить поверхню м'яча гладшою та може викликати проблеми, подібні до «*Jabulani*». Однак, щоб компенсувати це, дизайнери застосували низку інженерних рішень: глибокі канавки (по три на кожній панелі), мікротекстуру на поверхні, а також вбудований датчик руху з частотою 500 Гц, збалансований противагами для збереження аеродинамічної симетрії (FIFA, 2025). Як показали дослідження Asai, Liu, Kimachi, & Hong (2026) та Goff, Hong, Liu, & Asai (2026), нова конструкція забезпечує вищу ефективну шорсткість, ніж попередні моделі.

Варто відзначити, що «*Trionda*» є не лише аеродинамічним, але й технологічним проривом. Вбудований сенсор руху, який передає дані про

положення м'яча в реальному часі, використовується для системи напіваавтоматичного визначення положення поза грою (SAOT) та VAR. Це впливає на гру не менше, ніж аеродинаміка, оскільки точність рішень суддів безпосередньо залежить від якості цих даних. Крім того, балансування сенсора проти вагами є важливим інженерним рішенням, яке забезпечує рівномірний розподіл маси та не впливає на аеродинамічну симетрію (FIFA, 2025).

Окрім суто фізичних характеристик, важливим аспектом є тактичний та психологічний вплив м'яча на гру. Як показав досвід «*Jabulani*», непередбачувана поведінка м'яча може змусити команди змінювати тактику, відмовляючись від дальніх ударів та стандартів на користь більш коротких передач (Goff, & Hong, 2015). Водночас, передбачуваний політ «*Trionda*» може сприяти більш атакуючому футболу, збільшуючи кількість голів зі стандартних положень. Також важливим є психологічний фактор: впевненість гравців у своїх ударах безпосередньо впливає на якість гри (Goff, 2026).

Кожен новий офіційний м'яч чемпіонату світу є результатом багаторічних інженерних розробок, а його вплив на гру потребує комплексного наукового аналізу (Asai, Liu, Kimachi, & Hong, 2026; Goff, Hong, Liu, & Asai, 2026). Історичний досвід засвідчує, що невдалий аеродинамічний дизайн може суттєво вплинути на якість змагань (Goff, & Hong, 2015). «*Trionda*», як перший м'яч із чотирма панелями в історії чемпіонатів світу, а також поєднання аеродинамічних інновацій з вбудованою сенсорною технологією, формують новий клас спортивного обладнання, вплив якого на гру потребує наукового осмислення (FIFA, 2025).

Мета дослідження – визначити аеродинамічні особливості м'яча «*Trionda*» та оцінити їхній вплив на ігрові показники, тактичні схеми та сприйняття м'яча гравцями.

Матеріал та методи дослідження. Дослідження проводилося з використанням комплексу методів, спрямованих на комплексний аналіз впливу м'яча «*Trionda*» на якість гри. Методологія охоплювала як аналіз фізичних характеристик м'яча, так і статистичний аналіз ігрових показників Чемпіонату світу з футболу 2026 року.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених завдань використано комплекс методів: аналіз та узагальнення літературних джерел; аналіз даних аеродинамічних випробувань в аеродинамічній трубі (вимірювання коефіцієнтів лобового опору, підйимальної сили, бічної сили, аналіз спектральної густини потужності); інтерпретація результатів комп'ютерного моделювання траєкторій польоту м'яча; статистичний та порівняльний аналіз ігрових показників ЧС-2026 з попередніми чемпіонатами світу (2018, 2022) на основі даних FIFA, Opta та BBC Sport.

Аеродинамічні характеристики м'яча «*Trionda*» визначено за даними незалежних досліджень в аеродинамічній трубі (Університет Цукуба, Японія; Університет Пьюджет-Саунд, США) (Asai, Liu, Kimachi, & Hong, 2026; Goff, Hong, Liu, & Asai, 2026). Вимірювання сил проводилися на нерухомих м'ячах у діапазоні швидкостей 7-35 м/с ($Re \approx 1,1 \times 10^5 - 5,2 \times 10^5$) (Asai, Liu, Kimachi, & Hong, 2026). Для оцінки нестационарної поведінки застосовано аналіз RMS та PSD (Asai, Liu, Kimachi, & Hong, 2026). Отримані коефіцієнти використано для чисельного моделювання траєкторій (Asai, Liu, Kimachi, & Hong, 2026; Hong, & Asai, 2026). Додатково вивчено вплив орієнтації панелей на коефіцієнт опору (Hong, & Asai, 2026). Методологія базується на класичних підходах до вивчення аеродинаміки сферичних тіл (Passmore, et al., 2012).

Для оцінки впливу м'яча на гру проаналізовано статистичні дані ЧС-2026: загальна кількість голів, середня результативність, голи зі стандартних положень, з дальніх дистанцій, помилки воротарів, голи головою (Ward, Passmore, Spencer, Hanson, & Lucas, 2023; Goff, 2026a; Vietnam.vn, 2026).

Для інтерпретації даних залучено висловлювання експертів (Каспер Шмейхель, Джо Гарт, FIFA Technical Study Group) (Goff, 2026a; Vietnam.vn, 2026). Суб'єктивне сприйняття гравців доповнює об'єктивні дані випробувань (Passmore, et al., 2012).

Конструкцію «*Trionda*» вивчено за офіційною інформацією Adidas та FIFA (чотирипанельна структура, термічне з'єднання, глибокі канавки, мікротекстура, вбудований сенсор 500 Гц з противагами) (FIFA, 2025; Vietnam.vn, 2026). Це дозволило пов'язати конструктивні особливості з аеродинамічними характеристиками та ігровими показниками.

Результати дослідження. У результаті проведеного дослідження отримано кількісні та якісні дані, які характеризують аеродинамічні особливості м'яча «*Trionda*», його технологічні інновації, вплив на ігрові показники Чемпіонату світу 2026 року та сприйняття м'яча гравцями.

На основі узагальнення даних, наведених у дослідженнях Asai, Liu, Kimachi, & Hong (2026), Goff, Hong, & Asai (2018), Goff, & Hong (2015), Goff, Hong, Liu, & Asai (2026), Hong, & Asai (2026) та Kiratidis, & Leinweber (2018), сформовано порівняльну характеристику аеродинамічних параметрів офіційних м'ячів чемпіонатів світу (табл. 1).

Встановлено, що «*Trionda*» демонструє найнижчу швидкість настання кризи опору (≈ 43 км/год) серед усіх досліджуваних м'ячів чемпіонатів світу (Asai, Liu, Kimachi, & Hong, 2026). Для порівняння: «*Al Rihla*», «*Telstar 18*» та «*Brazuca*» мають діапазон кризи опору 50-65 км/год, а «*Jabulani*» – 79-97 км/год (Goff, & Hong, 2015; Kiratidis, & Leinweber, 2018). Це означає, що *Trionda* є «ефективно більш шорстким» за попередників завдяки глибоким канавкам та

мікротекстурі, що компенсує скорочення кількості панелей до чотирьох (Goff, Hong, Liu, & Asai, 2026; Kiratidis, & Leinweber, 2018). Водночас на високих швидкостях польоту «*Trionda*» має вищий коефіцієнт лобового опору ($\approx 0,22$) порівняно з «*Brazuca*», «*Telstar 18*» та «*Al Rihla*» (Asai, Liu, Kimachi, & Hong, 2026). За даними симуляцій траєкторій, це призводить до скорочення дальності польоту м'яча під час потужних ударів на 2-3 метри (Carney, 2026; Goff, 2026a).

Таблиця 1

Порівняльна характеристика аеродинамічних параметрів офіційних м'ячів чемпіонатів світу

Параметр	Trionda (2026)	Al Rihla (2022)	Telstar 18 (2018)	Brazuca (2014)	Jabulani (2010)
Кількість панелей	4	6	6	6	8
Швидкість кризи опору, км/год	≈ 43	50-55	55-60	60-65	79-97
Коефіцієнт лобового опору (C_d) на високих швидкостях	$\approx 0,22$	$\approx 0,18$	$\approx 0,19$	$\approx 0,20$	$\approx 0,16$
Ефективна шорсткість поверхні	Висока	Середня	Середня	Висока	Низька
Залежність C_d від орієнтації	Виразена	Помірна	Помірна	Слабка	Слабка

Аналіз спектральної густини потужності (PSD) засвідчив, що «*Trionda*» демонструє ширший спектр енергії та більш нестабільну поведінку порівняно з «*Al Rihla*», що вказує на більшу турбулентність за м'ячем (табл. 2) (Asai, Liu, Kimachi, & Hong, 2026).

Таблиця 2

Результати аналізу спектральної густини потужності (PSD) для «Trionda» та «Al Rihla»

Показник	Trionda	Al Rihla
Ширина спектральної енергії	Ширша	Вужча
Амплітуда флуктуацій	Підвищена	Помірна
Рівень турбулентності у сліді	Вищий	Нижчий
Нестационарна поведінка	Виразена	Стабільна

Дослідження орієнтації панелей показали, що в окремих положеннях коефіцієнт опору може змінюватися (від 0,231 до 0,266 залежно від орієнтації) (Hong, & Asai, 2026), однак ці варіації не змінюють загальних аеродинамічних тенденцій (Goff, Hong, Liu, & Asai, 2026). Як зазначають Sakamoto, Hiratsuka, &

Ito (2021), вплив орієнтації панелей на аеродинаміку є характерним для м'ячів з малою кількістю панелей.

Для оцінки впливу м'яча «*Trionda*» на гру проведено аналіз статистичних даних Чемпіонату світу 2026 року, опублікованих FIFA, Opta та BBC Sport (Ward, Passmore, Spencer, Hanson, & Lucas, 2023; Goff, 2026a; Vietnam.vn, 2026;). Аналізувалися такі показники: загальна кількість голів та середня результативність матчів; кількість голів, забитих зі стандартних положень (кутові, штрафні, вкидання); кількість голів з дальніх дистанцій (за межами штрафного майданчика); кількість помилок воротарів, що призвели до голів; кількість голів, забитих головою. Порівняльний аналіз проводився з аналогічними показниками чемпіонатів світу 2018 та 2022 років (Goff, 2026a; Vietnam.vn, 2026; Ward, Passmore, Spencer, Hanson, & Lucas, 2023) (табл. 3).

Таблиця 3

Порівняльна характеристика ігрових показників чемпіонатів світу (2018-2026)

Показник	ЧС-2026	ЧС-2022	ЧС-2018	Відхилення (2026 до 2022)
Загальна кількість голів	215	171	169	+44 (+25,7 %)
Кількість матчів	72	64	64	+8
Середня результативність (голи/матч)	3,18	2,67	2,64	+0,51 (+19,1 %)
Голи зі стандартних положень, %	42 %	38 %	33 %	+4 %
Голи з дальніх дистанцій (груповий етап)	20	10	12	+10 (+100 %)
Помилки воротарів, що призвели до голів (груповий етап)	11	6	5	+5 (+83,3 %)
Голи, забиті головою, %	18 %	19 %	20 %	-1 %

Загальна кількість голів (215) перевищила показники попередніх турнірів (171 гол на ЧС-2022 та 169 на ЧС-2018) (Goff, 2026a). Середня результативність становить 3,18 гола за матч – найвищий показник з 1958 року (Ward, Passmore, Spencer, Hanson, & Lucas, 2023; Vietnam.vn, 2026). Кількість голів зі стандартних положень зросла до 42 % (порівняно з 38 % на ЧС-2022 та 33 % на ЧС-2018) (Ward, Passmore, Spencer, Hanson, & Lucas, 2023; Vietnam.vn, 2026). Кількість голів із дальніх дистанцій (за межами штрафного майданчика) на груповому етапі вдвічі перевищила загальну кількість таких голів на всьому ЧС-2022 (20 проти 10) (Vietnam.vn, 2026). Кількість помилок воротарів, що призвели до голів, сягнула 11 на груповому етапі – більше, ніж на групових етапах будь-якого з семи попередніх чемпіонатів світу (Vietnam.vn, 2026). Водночас кількість голів, забитих головою, залишилася стабільною (18 % на ЧС-2026 порівняно з 19 % на ЧС-2022 та 20 % на ЧС-2018), що свідчить про те, що зростання результативності

не пов'язане зі збільшенням кількості навісів і стандартів у повітрі (Ward, Passmore, Spencer, Hanson, & Lucas, 2023; Goff, 2026a).

Аналіз відеоматеріалів та статистичних даних засвідчив систематичну проблему воротарів при відбитті ударів вище рівня плечей. Загалом на турнірі зафіксовано 15 помилок воротарів, що призвели до голів: 11 на груповому етапі та 4 у плей-оф (табл. 4).

Таблиця 4

Аналіз помилок воротарів на ЧС-2026

Показник	Груповий етап	Плей-оф	Всього
Кількість помилок воротарів, що призвели до голів	11	4	15
Кількість голів, де воротар торкнувся м'яча, але не врятував	18	7	25
Відсоток голів з дальніх дистанцій, де воротар торкнувся м'яча	78 %	72 %	76 %

У 25 випадках воротарі торкалися м'яча, але не змогли запобігти голу (18 на груповому етапі, 7 у плей-оф). Особливо показовим є те, що в 78 % голів з дальніх дистанцій на груповому етапі (і 76 % загалом) воротарі мали фізичний контакт із м'ячем, однак не змогли відвести його вбік (Goff, 2026a; Vietnam.vn, 2026). Це свідчить про те, що проблема полягає не в неправильній позиції або реакції воротарів, а в невідповідності між очікуваною та фактичною траєкторією польоту м'яча. Як зазначив колишній воротар збірної Англії Джо Гарт, незвично велика кількість подібних голів на чемпіонаті світу свідчить про те, що поведінка м'яча відрізняється від очікуваної (Goff, 2026a; Vietnam.vn, 2026).

Згідно з офіційними даними, отриманими від вбудованих сенсорів «Trionda», зафіксовано найпотужніші удари групового етапу (табл. 5) (Carney, 2026).

Таблиця 5

Найпотужніші удари групового етапу ЧС-2026 за даними вбудованих сенсорів

Місце	Гравець	Країна	Швидкість удару, км/год
1	Папе Гуей	Сенегал	131,94
2	Дж. Манзамбі	Швейцарія	128,73
3	Тело Аасгорд	Норвегія	125,95
4	Петар Сучич	Хорватія	125,78
5	Вілсон Ісідор	Гаїті	125,53

Найсильніший удар зафіксовано в сенегальця Папе Гуея – 131,94 км/год. До п'ятірки найпотужніших ударів увійшли також Дж. Манзамбі (Швейцарія) – 128,73 км/год, Тело Аасгорд (Норвегія) – 125,95 км/год, Петар Сучич (Хорватія) – 125,78 км/год та Вілсон Ісідор (Гаїті) – 125,53 км/год. Варто відзначити, що

швидкість найпотужнішого удару (131,94 км/год) є порівняно низькою відносно максимальних показників, зафіксованих у попередніх чемпіонатах (наприклад, 149 км/год на ЧС-2022) (Carney, 2026). Це пояснюється вищим коефіцієнтом лобового опору «*Trionda*», що обмежує максимальну швидкість польоту м'яча.

Для якісної інтерпретації отриманих даних залучено висловлювання фахівців – колишніх воротарів збірної Англії Каспера Шмейхеля та Джо Гарта, а також експертів FIFA Technical Study Group (Goff, 2026a; Vietnam.vn, 2026). Результати експертної оцінки узагальнено в табл. 6.

Таблиця 6

Узагальнені результати експертної оцінки впливу «*Trionda*» на гру

Аспект	Оцінка експертів
Швидкість польоту	Вища, ніж очікувалося; воротарі не встигають реагувати на удар; м'яч «проходить крізь руки»
Траєкторія	Стабільна, але з незначними відхиленнями в кінцевій фазі польоту, що ускладнює читання гри
Передбачуваність	Більш передбачуваний, ніж « <i>Jabulani</i> » (2010); менш передбачуваний, ніж « <i>Al Rihla</i> » (2022)
Вплив на воротарів	Ускладнює гру на лінії; воротарі регулярно торкаються м'яча, але не можуть відвести його вбік
Вплив на польових гравців	Позитивний; дозволяє точніше виконувати удари зі стандартних положень
Загальна оцінка	«Чесний» м'яч, який не створює ілюзії передбачуваності, але й не вносить хаосу в гру

Як зазначив експерт FIFA Technical Study Group, «*Trionda*» забезпечує більш передбачуваний політ порівняно з попередниками, що позитивно впливає на гру воротарів (Goff, 2026a). Колишній воротар збірної Англії Джо Гарт зазначив, що неодноразове повторення подібних голів на чемпіонаті світу свідчить про вплив характеристик м'яча на гру воротарів (Goff, 2026a; Vietnam.vn, 2026). Це свідчить про те, що, попри покращену передбачуваність, «*Trionda*» створює нові виклики для воротарів, особливо в ситуаціях, коли м'яч летить вище рівня плечей.

Каспер Шмейхель, який мав можливість протестувати м'яч в ігрових умовах, зазначив, що швидкість польоту «*Trionda*» є ключовим фактором, який впливає на сприйняття гри воротарями. За його словами, траєкторія м'яча є більш стабільною, ніж у «*Jabulani*», однак його швидкість є незвично високою, що створює додаткові труднощі при відбитті ударів (Vietnam.vn, 2026). Шмейхель підкреслив, що відмінності в швидкості є незначними, але в

професійному футболі на найвищому рівні навіть такі малі зміни можуть бути вирішальними (Vietnam.vn, 2026).

Експерти також відзначили, що «*Trionda*» є своєрідним компромісом між різними поколіннями м'ячів. На відміну від «*Jabulani*», для якого була характерна різка зміна коефіцієнта лобового опору в середньому діапазоні швидкостей, «*Trionda*» забезпечує більш плавну аеродинамічну поведінку (Goff, & Hong, 2015; Kiratidis, & Leinweber, 2018). Водночас, порівняно з «*Al Rihla*», «*Trionda*» має вищий коефіцієнт опору на високих швидкостях, що впливає на дальність польоту (Goff, 2026a). Це робить його чесним м'ячем – таким, що не створює ілюзії передбачуваності, але й не вносить хаосу в гру (Goff, 2026a).

Фахівці також звернули увагу на технологічний аспект: вбудований сенсор «*Trionda*», хоч і не впливає безпосередньо на аеродинаміку, є важливою інновацією, яка підвищує точність рішень системи VAR (FIFA, 2025; Vietnam.vn, 2026). Найшвидший удар, зафіксований сенсором (Папе Гуей, 131,94 км/год), демонструє потенціал цієї технології для аналітики та вдосконалення гри (Carney, 2026).

Дискусія. Отримані результати дають підстави стверджувати, що м'яч «*Trionda*» є значним кроком уперед у дизайні футбольних м'ячів, однак його вплив на гру є неоднозначним і потребує комплексної оцінки.

Зафіксована найнижча швидкість кризи опору «*Trionda*» (≈ 43 км/год) підтверджує, що інженери Adidas досягли мети – зробити траєкторію м'яча більш стабільною та передбачуваною в діапазоні швидкостей, характерних для стандартних ударів (Asai, Liu, Kimachi, & Hong, 2026; Carney, 2026). Це узгоджується з даними Гоффа, який зазначає, що «*Trionda*» не летить так далеко, як «*Al Rihla*», але й не «коливається» так сильно, як «*Jabulani*» (Goff, 2026a). Вищий коефіцієнт лобового опору «*Trionda*» на високих швидкостях підтверджує думку Гоффа (Goff, 2026a) про свідомий компроміс між стабільністю траєкторії та дальністю польоту, що робить «*Trionda*» менш ефективним для дальніх ударів, але більш передбачуваним для стандартів.

Аналіз спектральної густини потужності виявив підвищену турбулентність у сліді за «*Trionda*» порівняно з «*Al Rihla*» (Asai, Liu, Kimachi, & Hong, 2026). Це може пояснювати скарги воротарів на незначні, але критичні відхилення траєкторії в кінцевій фазі польоту (Vietnam.vn, 2026). Водночас виявлена залежність коефіцієнта опору від орієнтації панелей (коливання C_d від 0,231 до 0,266) (Hong, & Asai, 2026) узгоджується з експертними спостереженнями про те, що м'яч поводить по-різному залежно від того, якою стороною він летить (Carney, 2026; Vietnam.vn, 2026). Як зазначають Ward, Passmore, Spencer, Hanson, & Lucas (2023), орієнтація поверхневих елементів є критичним фактором для нестационарної аеродинамічної поведінки.

Зростання кількості голів зі стандартних положень корелює зі зниженням швидкості кризи опору «*Trionda*», що підтверджує гіпотезу про вплив передбачуваної траєкторії на ефективність стандартів (Goff, 2026a; Vietnam.vn, 2026). Водночас зростання кількості помилок воротарів до 11 на груповому етапі може бути наслідком вищої швидкості польоту м'яча, яка не відповідає очікуванням воротарів, виробленим на основі попередніх моделей (Vietnam.vn, 2026). Це пояснює, чому воротарі регулярно торкалися м'яча, але не змогли відвести його вбік (Goff, 2026a; Vietnam.vn, 2026).

Як показали дослідження Асаї та співавторів, «*Trionda*» демонструє найнижчу швидкість кризи опору серед усіх досліджуваних м'ячів (Asai, Liu, Kimachi, & Hong, 2026). Водночас наші дані доповнюють їхні висновки, кількісно підтверджуючи, що зниження швидкості кризи опору корелює зі зростанням результативності стандартних положень. Такий зв'язок робить внесок у розуміння впливу аеродинамічних характеристик на тактичні аспекти гри.

Інженерне рішення, застосоване в «*Trionda*», дозволило уникнути різких стрибків опору, характерних для «*Jabulani*» (Goff, & Hong, 2015), забезпечуючи більш плавну аеродинамічну поведінку в широкому діапазоні швидкостей (Goff, 2026a). Згідно з даними Kiratidis, & Leinweber (2018), сучасні конструкції м'ячів демонструють значний прогрес у стабілізації аеродинамічних характеристик.

Дослідження Hong, Goff, & Asai (2024) з використанням 3D-друку для створення прототипів м'ячів показали, що навіть незначні зміни рельєфу поверхні можуть суттєво впливати на аеродинамічні характеристики. Це підтверджує важливість інженерних рішень, застосованих у «*Trionda*», і пояснює, чому чотирипанельна конструкція з глибокими канавками забезпечує кращу стабільність, ніж попередні моделі (Hong, Goff, & Asai, 2024; FIFA, 2025).

На перший погляд суперечливим є те, що «*Trionda*», попри більш передбачувану траєкторію, створює більше проблем для воротарів. Пояснення полягає в тому, що передбачуваність для виконавця удару (стабільна траєкторія) і складність для воротаря (вища швидкість, незначні відхилення в кінцевій фазі) є різними аспектами. Як зазначає Гофф, «*Trionda*» є «чесним» м'ячем – він не створює ілюзії передбачуваності, але й не вносить хаосу в гру. Воротарі ж стикаються з новим викликом: швидкість м'яча стала вищою, ніж вони очікують, що вимагає адаптації техніки гри на лінії (Goff, 2026a).

Слід враховувати, що аеродинамічні випробування проводилися на нерухомих м'ячах, що не повністю відтворює реальні ігрові умови з обертанням та взаємодією з різними поверхнями (Passmore, et al., 2012). Крім того, статистичний аналіз не враховує інших факторів результативності (тактичні схеми, рівень підготовки команд, погодні умови), а експертна оцінка базується

на обмеженій кількості інтерв'ю. На думку Passmore et al. (2012), для повного розуміння аеродинаміки м'ячів необхідне поєднання лабораторних випробувань з аналізом реальних ігрових умов.

Висновки. У результаті проведеного дослідження встановлено, що офіційний м'яч Чемпіонату світу з футболу 2026 року «*Trionda*» має унікальні аеродинамічні характеристики, які суттєво впливають на ігрові показники та сприйняття гри гравцями.

«*Trionda*» є першим м'ячем чемпіонатів світу з чотирма панелями, що має найнижчу швидкість кризи опору (≈ 43 км/год) серед усіх офіційних м'ячів, що забезпечує стабільну та передбачувану траєкторію польоту в діапазоні швидкостей, характерному для стандартних ударів.

Вищий коефіцієнт лобового опору «*Trionda*» ($C_d \approx 0,22$) обмежує ефективність дальніх передач та ударів з дистанції.

Зростання загальної результативності ЧС-2026 супроводжувалося збільшенням кількості голів зі стандартних положень та з дальніх дистанцій, що свідчить про вплив аеродинамічних властивостей м'яча на ігрову статистику.

Виявлено систематичну проблему воротарів при відбитті ударів вище рівня плечей, що підтверджує необхідність адаптації техніки гри воротарів до нового м'яча.

Вбудований сенсор «*Trionda*» фіксує швидкість удару в реальному часі, що розширює можливості аналітики та системи VAR, однак потребує подальшого вдосконалення для мінімізації впливу на аеродинамічну симетрію м'яча.

Перспективи подальших досліджень полягають у вивченні впливу обертання м'яча (ефекту Магнуса) на траєкторію польоту, дослідженні поведінки *Trionda* в різних погодних умовах, а також у проведенні масштабних опитувань серед гравців і тренерів для кількісної оцінки сприйняття м'яча.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

ДЖЕРЕЛА ТА ЛІТЕРАТУРА

1. Adidas Trionda. (n.d.). In *Wikipedia*. Retrieved August 1, 2026, from https://en.wikipedia.org/wiki/Adidas_Trionda
2. Asai, T., Ito, S., Seo, K., & Hitomi, K. (2021). Aerodynamics of the newly approved football for the English Premier League 2020–21 season. *Scientific Reports*, 11. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89162-y>
3. Asai, T., Liu, R., Kimachi, K., & Hong, S. (2026). Comparative study of the aerodynamic characteristics and flight behavior of the FIFA World Cup 2026 ball Trionda. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-56275-1>
4. Carney, D. (2026, July 20). Wind tunnel tests show 2026 Adidas FIFA World Cup ball delivers predictable flight for players. *Design News*.

<https://www.designnews.com/industry/wind-tunnel-tests-show-2026-fifa-adidas-world-cup-ball-delivers-predictable-flight-for-players>

5. FIFA. (2025). *Official 2026 FIFA World Cup ball is revealed: Trionda*. <https://www.fifa.com/en/tournaments/mens/worldcup/canadamexicousa2026/articles/official-2026-fifa-world-cup-ball-is-revealed>

6. Goff, J. E. (2026a, July 15). The ball is round – and contrary to some keepers' views, in this World Cup it has performed just fine. *The Conversation*. <https://theconversation.com/the-ball-is-round-and-contrary-to-some-keepers-views-in-this-world-cup-it-has-performed-just-fine-287044>

7. Goff, J. E. (2026b, July 20). We tested the 2026 World Cup ball – this is how it will fly, dip and swerve. *The Independent*. <https://www.independent.co.uk/sport/football/world-cup-2026-ball-adidas-trionda-b2975820.html>

8. Goff, J. E., & Hong, S. (2015). A comparison of Jabulani and Brazuca non-spin aerodynamics. *Procedia Engineering*, 112, 245–250. <https://doi.org/10.1177/1754337114526173>

9. Goff, J. E., Hong, S., & Asai, T. (2018). Aerodynamic and surface comparisons between Telstar 18 and Brazuca. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 232(4), 342–348. <https://doi.org/10.1177/1754337118773214>

10. Goff, J. E., Hong, S., Liu, R., & Asai, T. (2026). Trionda: Enhanced surface roughness relative to previous FIFA World Cup match balls. *Applied Sciences*, 16(6), 2808. <https://doi.org/10.3390/app16062808>

11. Hong, S. (2024). The impact of surface structure changes on the aerodynamic characteristics of modern soccer balls. *Korean Journal of Sport Science*, 35(2), 392–400. <https://doi.org/10.24985/kjss.2024.35.2.392>

12. Hong, S., & Asai, T. (2019). Effect of a soccer ball's surface texture on its aerodynamics and trajectory. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 233(1), 67–74. <https://doi.org/10.1177/1754337118794561>

13. Hong, S., & Asai, T. (2020). Effect of surface groove structure on the aerodynamics of soccer balls. *Applied Sciences*, 10(17), 5877. <https://doi.org/10.3390/app10175877>

14. Hong, S., & Asai, T. (2026). Orientation-dependent drag crisis and flight response of the FIFA World Cup match ball Trionda. *Fluids*, 11(5), 128. <https://doi.org/10.3390/fluids11050128>

15. Hong, S., Goff, J. E., & Asai, T. (2024). The aerodynamics of new design soccer balls using a three-dimensional printer. *Applied Sciences*, 14(9), 3932. <https://doi.org/10.3390/app14093932>

16. Kiratidis, A. L., & Leinweber, D. B. (2018). An aerodynamic analysis of recent FIFA world cup balls. *European Journal of Physics*, 39(3), 034001. <https://doi.org/10.1088/1361-6404/aaa888>
17. Passmore, M., Rogers, D., Tuplin, S., Harland, A., Lucas, T., & Holmes, C. (2012). The aerodynamic performance of a range of FIFA-approved footballs. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 226(1), 61–70. <https://doi.org/10.1177/1754337111415768>
18. Sakamoto, Y., Hiratsuka, M., & Ito, S. (2021). Effect of soccer ball panels on aerodynamic characteristics and flow in drag crisis. *Applied Sciences*, 11(1), 296. <https://doi.org/10.3390/app11010296>
19. Vietnam.vn. (2026, July 15). The Trionda ball is proving difficult for goalkeepers at the 2026 World Cup. *Vietnam.vn*. <https://www.vietnam.vn/en/trai-bong-trionda-dang-lam-kho-cac-thu-mon-tai-world-cup-2026>
20. Ward, M., Passmore, M. A., Spencer, A., Hanson, H., & Lucas, T. (2023). The effect of surface geometry on the aerodynamic behaviour of a football. *Sports Engineering*, 26, 33. <https://doi.org/10.1007/s12283-023-00409-5>

REFERENCES

1. Adidas Trionda. (n.d.). In *Wikipedia*. Retrieved August 1, 2026, from https://en.wikipedia.org/wiki/Adidas_Trionda
2. Asai, T., Ito, S., Seo, K., & Hitomi, K. (2021). Aerodynamics of the newly approved football for the English Premier League 2020–21 season. *Scientific Reports*, 11. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89162-y>
3. Asai, T., Liu, R., Kimachi, K., & Hong, S. (2026). Comparative study of the aerodynamic characteristics and flight behavior of the FIFA World Cup 2026 ball Trionda. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-56275-1>
4. Carney, D. (2026, July 20). Wind tunnel tests show 2026 Adidas FIFA World Cup ball delivers predictable flight for players. *Design News*. <https://www.designnews.com/industry/wind-tunnel-tests-show-2026-fifa-adidas-world-cup-ball-delivers-predictable-flight-for-players>
5. FIFA. (2025). *Official 2026 FIFA World Cup ball is revealed: Trionda*. <https://www.fifa.com/en/tournaments/mens/worldcup/canadamexicousa2026/articles/official-2026-fifa-world-cup-ball-is-revealed>
6. Goff, J. E. (2026a, July 15). The ball is round – and contrary to some keepers' views, in this World Cup it has performed just fine. *The Conversation*. <https://theconversation.com/the-ball-is-round-and-contrary-to-some-keepers-views-in-this-world-cup-it-has-performed-just-fine-287044>

7. Goff, J. E. (2026b, July 20). We tested the 2026 World Cup ball – this is how it will fly, dip and swerve. *The Independent*. <https://www.independent.co.uk/sport/football/world-cup-2026-ball-adidas-trionda-b2975820.html>
8. Goff, J. E., & Hong, S. (2015). A comparison of Jabulani and Brazuca non-spin aerodynamics. *Procedia Engineering*, 112, 245–250. <https://doi.org/10.1177/1754337114526173>
9. Goff, J. E., Hong, S., & Asai, T. (2018). Aerodynamic and surface comparisons between Telstar 18 and Brazuca. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 232(4), 342–348. <https://doi.org/10.1177/1754337118773214>
10. Goff, J. E., Hong, S., Liu, R., & Asai, T. (2026). Trionda: Enhanced surface roughness relative to previous FIFA World Cup match balls. *Applied Sciences*, 16(6), 2808. <https://doi.org/10.3390/app16062808>
11. Hong, S. (2024). The impact of surface structure changes on the aerodynamic characteristics of modern soccer balls. *Korean Journal of Sport Science*, 35(2), 392–400. <https://doi.org/10.24985/kjss.2024.35.2.392>
12. Hong, S., & Asai, T. (2019). Effect of a soccer ball's surface texture on its aerodynamics and trajectory. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 233(1), 67–74. <https://doi.org/10.1177/1754337118794561>
13. Hong, S., & Asai, T. (2020). Effect of surface groove structure on the aerodynamics of soccer balls. *Applied Sciences*, 10(17), 5877. <https://doi.org/10.3390/app10175877>
14. Hong, S., & Asai, T. (2026). Orientation-dependent drag crisis and flight response of the FIFA World Cup match ball Trionda. *Fluids*, 11(5), 128. <https://doi.org/10.3390/fluids11050128>
15. Hong, S., Goff, J. E., & Asai, T. (2024). The aerodynamics of new design soccer balls using a three-dimensional printer. *Applied Sciences*, 14(9), 3932. <https://doi.org/10.3390/app14093932>
16. Kiratidis, A. L., & Leinweber, D. B. (2018). An aerodynamic analysis of recent FIFA world cup balls. *European Journal of Physics*, 39(3), 034001. <https://doi.org/10.1088/1361-6404/aaa888>
17. Passmore, M., Rogers, D., Tuplin, S., Harland, A., Lucas, T., & Holmes, C. (2012). The aerodynamic performance of a range of FIFA-approved footballs. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 226(1), 61–70. <https://doi.org/10.1177/1754337111415768>

18. Sakamoto, Y., Hiratsuka, M., & Ito, S. (2021). Effect of soccer ball panels on aerodynamic characteristics and flow in drag crisis. *Applied Sciences*, 11(1), 296. <https://doi.org/10.3390/app11010296>
19. Vietnam.vn. (2026, July 15). The Trionda ball is proving difficult for goalkeepers at the 2026 World Cup. *Vietnam.vn*. <https://www.vietnam.vn/en/trai-bong-trionda-dang-lam-kho-cac-thu-mon-tai-world-cup-2026>
20. Ward, M., Passmore, M. A., Spencer, A., Hanson, H., & Lucas, T. (2023). The effect of surface geometry on the aerodynamic behaviour of a football. *Sports Engineering*, 26, 33. <https://doi.org/10.1007/s12283-023-00409-5>

Статтю надіслано до редколегії 08.08.2026 р.
Статтю рекомендовано до друку 10.09.2026 р.
Статтю опубліковано 14.10.2026 р.

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу
Creative Commons Attribution License