

Strona czasopisma: <http://analit.agh.edu.pl/>

Kiedy Chemia Wyznacza Granice: Sekret Sprayu Sędziowskiego

When Chemistry Defines the Boundaries: The Physicochemical Secret of Vanishing Referee Spray

Kinga Dąbska

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

ABSTRAKT: Współczesny sport coraz chętniej adaptuje zaawansowane rozwiązania inżynieryjne w celu zapewnienia transparentności i dynamiki rozgrywek. Jednym z najbardziej ikonicznych przykładów jest wprowadzony na szeroką skalę podczas Mistrzostw Świata w 2014 roku spray sędziowski. Choć dla laika jest to jedynie „biała linia” na murawie, z perspektywy chemii fizycznej mamy do czynienia ze złożonym układem koloidalnym o charakterze piany. Artykuł analizuje mechanizmy stabilizacji i szybkiej degradacji tej struktury, wpływ lotnych związków organicznych (VOC) na atmosferę stadionu oraz wskazuje na współczesne trendy proekologiczne, takie jak wykorzystanie biosurfaktantów i polipeptydów w projektowaniu nowoczesnych składów.

ABSTRACT: Modern sports increasingly adopt advanced engineering solutions to ensure transparency and the dynamic nature of the game. One of the most iconic examples is the vanishing referee spray, introduced on a large scale during the 2014 FIFA World Cup. While to a layperson it is merely a "white line" on the pitch, from a physical chemistry perspective, it is a complex colloidal system with the characteristics of a foam. This article analyzes the mechanisms of stabilization and rapid degradation of this structure, the impact of volatile organic compounds (VOCs) on the stadium atmosphere, and highlights contemporary pro-ecological trends, such as the use of bio-surfactants and polypeptides in the design of modern formulations.

Słowa kluczowe: piana, układ koloidalny, surfaktanty, biosurfaktanty, spray sędziowski, lotne związki organiczne (VOC)

1. Wstęp

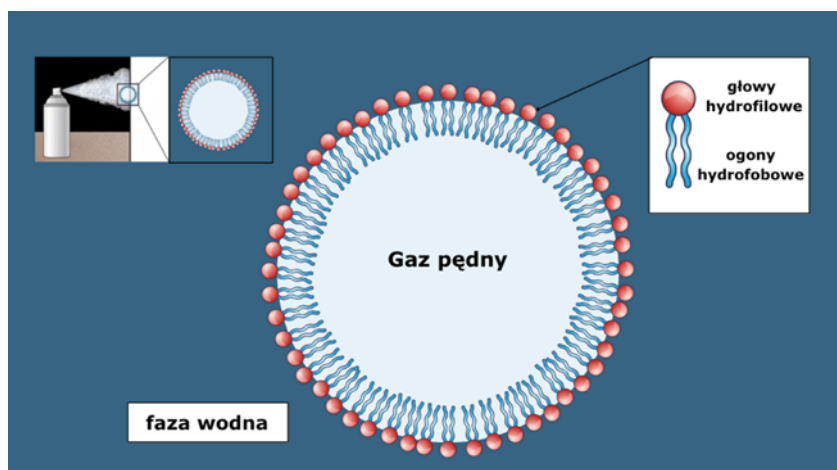
Współczesne widowiska sportowe to nie tylko rywalizacja sportowców, ale również miejsce doświadczalne dla nowoczesnych technologii. Chemia, przenikając do każdego obszaru życia, znalazła unikalne zastosowanie na murawach całego świata. Spray sędziowski, technicznie znany jako vanishing spray, służy do egzekwowania reguły minimalnej odległości 9.15 m (10 jardów) dzielącej piłkę od muru obronnego podczas rzutów wolnych [1]. W przeszłości sędziowie musieli mierzyć się z sytuacjami, w których zawodnicy nie zawsze przestrzegali wymaganej odległości przy murze, co prowadziło do nieporozumień i opóźnień w grze. Wprowadzenie sprayu było odpowiedzią na potrzebę wizualizacji niewidzialnej dotąd granicy. Badania przeprowadzone m.in. w niemieckiej Bundeslidze wykazują, że choć narzędzie to nie eliminuje całkowicie naruszeń, to znacząco zmniejsza ich skalę. Odsetek naruszeń, czyli przekroczeń linii o ponad metr spadł po jego wprowadzeniu o blisko 6% [1]. Głównym wyzwaniem inżynieryjnym przy projektowaniu sprayu było stworzenie substancji, która będzie natychmiast widoczna na różnych typach nawierzchni (trawa naturalna, syntetyczna) i ulegnie całkowitej degradacji wizualnej w czasie 60–120 sekund, aby nie wprowadzać chaosu w dalszej fazie meczu. Dzięki temu prostemu narzędziu poprawiono dyscyplinę zawodników oraz płynność rozgrywek, co ma istotne znaczenie zarówno dla zawodników, jak i widzów.

2. Architektura fizykochemiczna sprayu

Z punktu widzenia inżynierii materiałowej spray sędziowski to klasyczny układ dwufazowy zamknięty w opakowaniu aerosolowym [3]. Składa się z dwóch faz. Pierwsza z nich to faza gazowa, która składa się z gazu pędnego (najczęściej jest to butan lub mieszanina propan-butan), stanowiącego około 15–30% objętości. Z kolei faza ciekła to woda (ok. 70–80%) oraz surfaktanty (środki powierzchniowo czynne). W momencie aplikacji dochodzi do gwałtownego spadku ciśnienia, co inicjuje parowanie gazu pędnego rozpuszczonego w cieczy. Proces ten generuje miliony mikropęcherzyków, tworząc pianę o wysokim współczynniku odbicia światła, co nadaje jej intensywnie biały kolor. Kluczem do trwałości linii jest obecność surfaktantów. Są to cząsteczki amfifilowe, które spontanicznie orientują się na granicy faz. Część hydrofilowa skierowana jest ku fazie wodnej, natomiast część hydrofobowa skierowana jest do wnętrza pęcherzyka gazu. Stabilność tej piany zależy od napięcia powierzchniowego oraz dynamiki drenażu i koalescencji pęcherzyków [2,3]. Drenaż oznacza grawitacyjny odpływ cieczy z cienkich filmów otaczających pęcherzyki, co prowadzi do pocienienia ich ścianek. Z kolei koalescencja to proces łączenia się sąsiadujących pęcherzyków w większe struktury, co w konsekwencji powoduje pęknięcie piany i zanikanie linii na boisku.

3. Kinetyka procesu: od aplikacji do anihilacji

Aplikacja sprayu to proces kinetyczny o precyzyjnie zaprojektowanej osi czasu. W momencie wylotu ($t=0$) następuje gwałtowne rozprężenie gazu. W locie ($t=1s$) formuje się układ koloidalny i dochodzi do stabilizacji międzyfazowej. Po kontakcie z murawą ($t=2s-10s$) piana osiąga swoją maksymalną objętość oraz najwyższą wartość współczynnika odbicia światła, a układ musi być stabilny na tyle, by stworzyć wyraźną linię, ale na tyle nietrwały, by po chwili zacząć znikać. Co istotne, naniesiona na podłoże linia piany nie ulega natychmiastowej destrukcji. Zanikanie linii w ciągu kilkunastu sekund to efekt dwóch procesów [3]. Po pierwsze gaz pędny odparowuje z wnętrza pęcherzyków, co powoduje ich zapadanie się [2]. Po drugie następuje drenaż cieczy, kiedy woda spływa w dół pod wpływem grawitacji. Pęcherzyki łączą się w większe i pękają, a gaz pędny dyfunduje do atmosfery, co prowadzi do zaniku widoczności linii.



Rysunek 1. Schematyczna budowa pęcherzyka piany w sprayu sędziowskim. Widoczna orientacja cząsteczek surfaktantu na granicy faz gaz pędny–faza wodna [źródło: własne].

4. Wpływ na środowisko i atmosferę stadionu

Stosowanie sprayów sędziowskich nie pozostaje bez wpływu na środowisko lokalne. Emisja gazów pędnych to inaczej uwolnienie lotnych związków organicznych (VOC). Badania atmosfery stadionowej wykazały, że stadion piłkarski podczas meczu staje się specyficznym reaktorem chemicznym [4]. Obecność dużych grup ludzi i towarzyszącej im technologii (w tym sprayów i dymów barwnych) znacząco zmienia lokalny profil chemiczny powietrza. Do głównych antropogenicznych źródeł VOC na stadionie zalicza się m.in. oddech i pot kibiców, co emituje mieralne ilości etanolu, acetonu i izoprenu [4]. Co więcej, innymi źródłami emisji jest dym tytoniowy (acetonitryl) i gazy pędne ze sprayów sędziowskich (alkany). W warunkach silnego nasłonecznienia alkany ze sprayu mogą reagować z tlenkami azotu, przyczyniając się do powstawania ozonu przygruntowego oraz PAN (azotanów peroksyacylowych), które są silnymi lachrymatorami (substancjami drażniącymi oczy) [4]. Choć w skali globalnej emisja ta jest znikoma, w skali lokalnej takiej jak kryte stadiony piłkarskie może wpływać na jakość powietrza.

5. Nowoczesne rozwiązania, czyli Zielona Chemia w sporcie

W obliczu niskiej biodegradowalności syntetycznych surfaktantów, inżynieria materiałowa dąży do stworzenia bardziej ekologicznej formułacji. Zielona chemia w sporcie opiera się na dwóch filarach: biodegradowalności i niskiej toksyczności. Najbardziej obiecującym kierunkiem jest wykorzystanie mieszanin polielektrolitów i biosurfaktantów. Jednym z przykładów są ramnolipidy, czyli anionowe biosurfaktanty pochodzenia mikrobiologicznego, syntezowane przez mikroorganizmy np. *Pseudomonas aeruginosa* [2]. Charakteryzują się one niską toksycznością i doskonałą biodegradowalnością w środowisku glebowym. Wyróżniają się również zdolnością do obniżania napięcia powierzchniowego wody. Innym sposobem mogłoby być zastosowanie syntetycznych poliaminokwasów, takich jak poli-L-lizyna i kwas poli-L-glutaminowy (PGA, ang. poly-gamma-glutamic acid), które wchodzi w interakcje z surfaktantami [2]. Badania eksperymentalne z wykorzystaniem interferometrii dynamicznej (DFI) wykazały, że dodatek polielektrolitów (np. PGA) do surfaktantów o przeciwnym ładunku, takich jak lauryloarginian etylu (LAE, ang. ethyl lauroyl arginate), wykazuje efekt synergiczny. Powoduje to wydłużenie czasu życia pojedynczego filmu piany i spowolnienie drenażu, co pozwala na precyzyjne sterowanie czasem widoczności linii na boisku [2].

6. Wnioski

Spray sędziowski stanowi przykład technologii, w której zjawiska fizykochemiczne pian znajdują bezpośrednie zastosowanie praktyczne. Choć obecne systemy są skuteczne w dyscyplinowaniu zawodników, przyszłość należy do inteligentnych formuł opartych na biosurfaktantach, które zapewniają "zero śladu" ekologicznego przy zachowaniu wysokiej funkcjonalności na stadionie.

Literatura

- [1] Kolbinger, O., Link, D. (2016). The use of vanishing spray reduces the extent of rule violations in soccer. *SpringerPlus*, 5(1), 1572.
- [2] Kosior, D. et al. (2024). Effect of Synthetic Polypeptide–Bio–Surfactant Composition on the Formation and Stability of Foams, *Minerals*, 14(11).
- [3] L.L. Schramm. (2005). *Emulsions, Foams, and Suspensions: Fundamentals and Applications*, Wiley-VCH.
- [4] P.R. Veres et al. (2013). Anthropogenic sources of VOC in a football stadium, *Atmospheric Environment*, 77, 1052-1059.