

A SPORTLABDÁK FIZIKÁJA

Nagy Anett

Szegedi Radnóti Miklós Kísérleti Gimnázium, Szeged

E-mail: nagy.anett.rmg@gmail.com

Tanárként folyamatosan keressük azokat az ötleteket és módszereket, amelyekkel a diákok érdeklődését felkeltethetjük, és fenn is tarthatjuk a fizikaórákon. A sport számtalan olyan témát kínál, melyhez kapcsolódó projektekkel a kevésbé érdeklődő diákok is figyelemmel fordulhatnak a fizika felé. Ezért kísérletes előadásom témájaként a labdák fizikáját választottam. Az előadás első részében a focilabdák külső megjelenésének és felületének mérnöki fejlesztéseit mutattam be, majd néhány egyszerű kísérlet segítségével azt vizsgáltam, hogy a labda mely fizikai tulajdonságai a legmeghatározóbbak, miközben gurul, pattan vagy repül a levegőben.



1. ábra. Fűzős focilabda



2. ábra. A Telstar labda



3. ábra. A Telstar műhold

Kezdetben a labdák rongyból vagy bőrből készültek, melyeket általában növényi részekkel vagy más anyagokkal tömtek ki. A játék során ezek tömörödtek, deformálódtak, szükséges volt az újratöltésük. Ezért nem varrták össze teljesen a labdákat, hanem egy fűzős részt hagyva lehetőség volt a tömőanyag cseréjére és pótlására (1. ábra). A labdák a technológia fejlődésével egyre tökéletesebbé váltak. A fejlesztések közül egy magyar vonatkozás mindenképpen említést érdemel. Lévay József és Lénárt Ferenc bőripari mérnökök 1962-ben benyújtottak egy újítási javaslatot, melyben a labda szabásmintáját bőr helyett marhahasítékból és az eddig 12–18 hosszúka csík helyett 32 paneles, ötszög és hatszög alakzatokból készítették el. Az új tervek alapján megvarrt labdák tartósságuk és vízállóságuk alapján nagy népszerűségnek örvendtek egész Európában, és megnőtt a külföldi kereslet is a magyar labdák iránt [1]. A két mérnökkel egyidőben dán mérnökök is hasonló szabásmintát használtak, így végül nem lehetünk biztosan abban, hogy ki

nek az ötlete alapján, de több mint 40 évig a hivatalos focilabdák öt-és hatszög alakú panelek összeillesztésével készültek.

1970-től az egységesség érdekében a FIFA biztosítja a labdákat a futball-világbajnokságokon. A hivatalos gyártó az Adidas, és a cég mérnökei világbajnokságról világbajnokságra igyekeznek egyre tökéletesebb labdát tervezni és gyártani. A labdáknak fantázianeveket is adnak, melyekkel azok könnyen beazonosíthatók. Minden új labda számos fejlesztésen esik át, ezek közül azonban most csak néhány mérföldkövet említek meg.

Az 1970-es mexikói világbajnokságon mutatták be a TELSTAR nevű labdát, mely az eddigi barnás-sárgás szín helyett fekete-fehér színezést kapott a jobb láthatóság érdekében, ahol az ötszögek feketék, a hatszögek fehérek voltak (2. ábra). A labda onnan kapta a nevét, hogy első ránézésre nagyon hasonlított az 1962-ben felöltött transzatlanti TELSTAR műholdra, az azon található négyzetes alakú napelemek fekete színe miatt (3. ábra). A műhold feladata az Észak-Amerika és Európa közötti kétirányú telefonos és televíziós kapcsolat biztosítása volt [2].

A következő látványos változás az 1978-as argentin világbajnoki labdán jelent meg, melyen az öt- és hatszögletű panelek mintázata optikailag 12 egyforma kör illúzióját keltette. Ezt a labdát egy víztaszító réteggel vonták be, hogy eső esetén se változzon meg számottevően a labda tömege.

Az 1986-os Azteca labda volt az első labda, mely teljesen szintetikus anyagból készült, így sokkal tartósabb és vízállóbb lett. A köröket formáló fekete mezőkben azték mintákat helyeztek el. Az első színes labda az 1998-as franciaországi világbajnoki labda volt, mely a rendező ország színeit viselte. A másik újítás egy mikrocéllákból álló szintetikus habréteg volt, mely kiváló rugalmasságot és egyben tartósságot is biztosított. A 2006-os német világbajnokság labdája teljesen megújult külsőt kapott, hiszen az addigi 32 varrott panel helyett csupán 14 hőhegesztett panelből készült – ezzel a varratok okozta addigi problémákat csökkentették.

A 2010-es Jabulani talán a leghíresebb és egyben a legtöbb támadást kapott labda a világon, mert ugyan ez volt a leggömbölyűbb labda mind közül, azonban nagy sebességeknél mozgása kiszámíthatatlanná vált. A panelek számát tovább csökkentették, ez a labda már csak 8 darab domború, varrások nélküli panelből állt. A 2014-es Brazuca már csak 6 panelből készült, ahogy a 2018-as és 2022-es labda is. Az első szenzorral ellátott labda a 2018-as Telstar 2 volt. A logó alatti rétegben egy NFC szenzor volt, mely a kapu alatt végigfutó kis áramjárta vezeték segítségével egyértelműen tudta jelezni, hogy a



Dr. Nagy Anett a Szegedi Radnóti Miklós Kísérleti Gimnáziumban érettségizett, majd a Szegedi Tudományegyetemen matematika, fizika és angol szakos tanárként végzett. 2005-ben PhD-fokozatot szerzett, doktori dolgozatának témája „Motivációs stratégiák a fizika tanításában”, témavezetője dr. Papp Katalin volt. Egyetemi tanulmányai befejezése óta a Szegedi Radnóti Miklós Kísérleti Gimnázium tanára, jelenleg igazgatója. Rendszeres résztvevője a Fizikatanári Ankétoknak, ahol legszívesebben hetiköznapi egyszerű eszközökkel végzett kísérleteket mutat be. Az „Út a tudáshoz” fizikatanterv-család egyik szerzője. A Játsszunk fizikát! és a Bor Pál Fizikaverseny szervezőbizottságának tagja.

labda áthaladt-e a gólvonalon. A 2022-es al-Rihla és al-Hilm labdák pedig már olyan mérőegységet tartalmaztak, melyben gyorsulásmérő, giroszkóp és pozíciókövető érzékelő is volt. Ez a szenzor másodpercenként 500 jelet küldött a videóbíró támogató rendszernek a lehető legkorrektebb bírói döntések támogatásához. A jövőben a panelek száma tovább csökken, ugyanis a 2026-os vb labda, a Trionda már csak 4 panelből fog állni. A 4. ábrán a világbajnokságok focilabdái láthatók [3].



4. ábra. A világbajnokságok focilabdái

A FIFA a labdákat számos különböző vizsgálatnak veti alá: teszteli az alakjukat, kerületüket, tömegüket, vízfelvételüket, alakváltozásukat tartós terhelés alatt, a nyomás változását és visszapattanásuk magasságát is. Mindegyik méréshez meghatároztak egy referenciatarományt, melyen belüli értékek esetén mehet át a labda az adott teszten. Például a labda legnagyobb átmérője legfeljebb 1,5%-kal lehet nagyobb a legkisebb átmérőnél. A vízfelvétel tesztelésekor a labdát néhány órára egy edénybe teszik, melybe előtte 2 cm magasan vizet töltöttek. A labdát a vízben tartva össze-összenyomják egy présel a rúgásokat szimulálva. A kísérlet végén lemérik a nedves labda tömegét, mely érték legfeljebb 10%-kal lehet több az eredetinél. Mivel a labdának a mérkőzés végén is ugyanúgy kell viselkednie, mint az első rúgásnál, a tartósságot is tesztelni kell. A folyamatos terhelést úgy szimulálják, hogy két forgó henger segítségével 50 km/h sebességre gyorsítják fel a labdát, melyet aztán egy fémfelületre lönek. Ezt az eljárást 2000 alkalommal ismétlik meg, majd megvizsgálják, hogy mennyire módosult a labda alakja. A labda nyomástartását egy 72 órás teszten ellenőrzik, melynek végén a normál légköri nyomáson magára hagyott labda nyomása legfeljebb 20%-kal lehet kisebb az eredeti értéknél. A visszapattanást pedig úgy vizsgálják, hogy a labdát 2 m magasságból acéllemezre ejtik, és mérik a visszapattanás magasságát. A legkisebb és legnagyobb visszapattanás között legfeljebb 10 cm lehet a magasságkülönbség ahhoz, hogy a labda átmenjen a teszten [4].

Laboratóriumi körülmények nélkül is vizsgálhatjuk a labdák tulajdonságait, például tömegüket, alakjukat, vízfelvételüket vagy visszapattanásukat. Tesztelhetjük különböző labdák visszapattanásának magasságát például

úgy, hogy egyforma magasságból leejtjük azokat, és összehasonlítjuk, sőt, videófelvétel vagy fénykép készítésével akár meg is mérjük a pattanás után elért legnagyobb magasságokat. Megmérhetjük ugyanannak a labdának a visszapattanási magasságát a körülményeket változtatva, vagy vizsgálhatjuk a sebességek változásait az egymás utáni pattanások során. Például az emelt szintű fizikaérettségi szóbeli részén a diákok egyik feladata egy pingponglabda pattanásainak vizsgálata a Tracker program segítségével. Pattogtathatunk labdát különböző felületeken, különböző belső nyomással, vagy például különböző hőmérsékleten. A középszintű érettségi egy projektfeladata lehet például annak meghatározása, hogy egy teniszlabda visszapattanási magassága hogyan függ a labda hőmérsékletétől. Egy hasonló mérés eredményeit tartalmazza az 1. táblázat, mely az 1 m magasságból leejtett különböző hőmérsékletű teniszlabda visszapattanási magasságait tartalmazza. A kísérlet igazolta, hogy a hőmérséklet emelkedésével nő a visszapattanás magassága [5].

1. táblázat. A magasság a hőmérséklet függvényében

Hőmérséklet (C°)	A visszapattanás magassága (cm)
-18	55
4	62
21	70
95	83

Bármilyen rugalmas is egy labda, a földre pattanásakor mindig veszít valamekkora energiát, így semmiképpen nem tud eredeti indítási magasságáig visszapattanni. Azonban, ha két labdát egymás tetejére teszünk, akkor a felső labda az indítási magasságánál magasabbra is pattanhat. A látszólag meglepő jelenség magyarázata, hogy a labdák nem egyszerre érnek a földre, hanem az alsó labda ér először a talajra, onnan visszapattanva ütközik neki az ekkor még lefele tartó nála kisebb tömegű labdának, és az ütközés hatására energiájának egy részét átadja a felső labdának. Ezzel a plusz energiával a felső labda magasabbra tud pattanni, mint ahonnan indult. Kísérletezzünk többféle és esetleg több labdával is! Kosárlabda-teniszlabda párosítás esetén, ha sikerül függőlegesen leejtünk a labdapiramist, akkor azt tapasztalhatjuk, hogy a teniszlabda akár az indítási magasság négyszeresére is felpattan (5. ábra) [6].

A labdák mozgását a levegőben legin-



5. ábra. A labdapiramis

kább a labda felülete, sebessége és forgása határozza meg. Számos sportban tapasztalhatjuk, hogy ha a labdát ütés vagy rúgás közben forgásba is hozzák, azaz megcsavarják, akkor a labda menet közben eltér eredeti mozgásirányától, így mozgása látszólag ellentmond Newton 1. törvényének. A csavart labda titkának megértéséhez a Magnus-effektus és a Bernoulli-törvény ismerete szükséges.

A Bernoulli-törvényt egy hajszárító segítségével könnyedén demonstrálni is tudjuk. A hajszárítóból kifújt gyors légáramban a nagyobb sebesség hatására megnő a dinamikus nyomás, így a statikus nyomás csökken. Ezért oldalról, a nagyobb nyomású levegő a légáram felé indul el, ezzel benntartva, illetve vissza-visszalökődve a légáramba a pingponglabdát (6. ábra). Könnyen igazolhatjuk azt is, hogy az oldalról beáramló levegő tartja benn a labdát a légáramban. Helyezzünk egy papírhengert a bekapcsolt hajszárító fölött táncoló pingponglabda fölé (7. ábra). Ekkor azt tapasztaljuk, hogy a pingponglabda hirtelen magasra felrepül, és kikerül a légáramból, mivel oldalról elzártuk a beáramló levegő útját, és ezzel megszüntettük a benntartó hatást. Hajszárító nélkül is bemutatathatjuk a jelenséget. Egy meghajlított szívószálba levegőt fújva egy pici lufit (például egy vízbombának való lufit) bárki könnyedén táncoltathat a levegőáramban (8. ábra).



6. ábra. Pingponglabda a légáramban



7. ábra. A papírhenger a légáramban



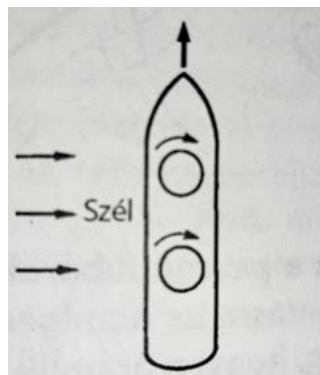
8. ábra. Lufi lebegtetése szívószállal

Ha egy labda folyékony vagy gáz közegben mozog, akkor a labda felszíne magával sodorja a közeg molekuláit is. Így a labda egyik oldalán a keletkezett örvény sebessége hozzáadódik, a másik oldalon kivonódik az eredeti sebességből (9. ábra). A labda két oldalán tehát különböző lesz a sebesség, így nyomáskülönbség fog kialakulni Bernoulli törvényének megfelelően. Ezért a labda a pörgésirányától függően valamelyik irányban eltérül az eredeti mozgási irányához képest. Ez a jelenség magyarázza azt, hogy az ügyes focisták a kapu előtt álló védő sorfal mellett is be tudják csavarni a labdát a kapuba [7].

A jelenséget Gustav Magnus egyetemi tanár fedezte fel 1852-ben, amikor felkérték, hogy adjon magyarázatot az ágyúgolyók különös mozgására. Ugyanis az akkortájt használt ágyúknál többször tapasztalták, hogy az ágyúgolyók a pálya egy részén teljesen eltértek a kilövés irányától, több alkalommal akár teljesen vissza is fordultak. Magnus azt állapította meg, hogy az ágyúgolyók felszínének apró egyenetlenségei miatt egyes golyók még az ágyú csövében forgásba jöttek, és így a csőből kilépve röppályájuk a forgás miatt kiszámíthatatlanná vált.



9. ábra. A labda két oldalán különböző a sebesség



10. ábra. Flettner rotoros hajó rajza

A Magnus-effektust használta ki Anton Flettner mérnök, aki hajóira több függőleges tengely körül forgó hengert szerelt (a hengerek percnkénti fordulatszáma 120 volt), melyek hatására az oldalról fújó szél a hajót előre vitte (10. ábra). Ha a szél irányt váltott, és a másik oldalról fújt, akkor a hengereket a másik irányba forgatták, mert egyébként a hatás hátrafelé mozgatta volna a hajót. 1926-ban Baden-Baden nevű hajója sikerrel átszelte az Atlanti-óceánt [8]. A rotoros hajtás már akkoriban is komoly üzemanyag-megtakarítást jelentett, de a Flettner-rotor felhasználása napjainkban éli virágkorát. Főleg környezetvédelmi szempontok miatt. Teherszállító hajókra hatalmas, a rakodás megkönnyítése miatt sokszor eltolható vagy lehajtható forgatható hengereket építenek, melyek segítségével a Magnus-hatás alapján komoly üzemanyag-megtakarítást és CO₂-kibocsátáscsökkenést érnek el (11. ábra) [9].



11. ábra. A 2017-ben épített TRLady teherszállító hajó

A Magnus-effektus bemutatására papírpoharakból könnyedén készíthetünk egy kis eszközt a diákokkal is. Ragasztószalag segítségével erősítsünk össze két papírpoharat úgy, hogy a talpukat fordítsuk egymás felé (12. ábra). Az így elkészült hengeres testet egy, a közepére tekert gumiszalaggal (több összefűzött befőttes gumival) lőjük ki, vagyis hozzuk forgásba (13. ábra). Kis gyakorlás után nagy sebességgel tudjuk csúzlíként kilőni eszközünköt, amely a gyors pörgés hatására íves pályán magasra emelkedik; jól mutatva a Magnus-effektust (14. ábra) [10].



12. ábra. A kísérlet eszközei



13. ábra. A kilövés pillanata



14. ábra. A magasba emelkedő poharak

A labdák tanulmányozása során számos projektet valósíthatunk meg, melyben a különböző korú és érdeklődési korú diákok a labdák vizsgálatán keresztül kicsit közelebb kerülhetnek a fizikához.

Irodalom

1. https://mnl.gov.hu/mnl/ol/hirek/nagy_huho_a_labda_korul
2. <https://index.hu/sport/futball/2013/12/07/vb-labdak/>
3. <https://www.meccselunk.com/focilabda-tortenelem>
4. <https://soccerballworld.com/fifa-soccer-ball-testing-and-approvals>
5. <https://justinleescienceresearch.wordpress.com/2013/05/17/a-tennis-balls-bounce-with-temperature>
6. <https://interestingengineering.com/science/what-are-the-physics-behind-bouncing-balls>
7. Berkes István (1999): A mindennapok fizikája. Springer Hungaria Kiadó.
8. https://index.hu/tudomany/til/2018/09/09/rotor_hajo/
9. <https://hajozas.hu/magazin/teherhajozas/rotor-vitorla-szelelhajtas-a-kornyezetkimelo-es-takarekos-hajozasert>
10. <https://www.exploratorium.edu/snacks/curveball-demonstrator>