TÖRTÉNELMI SZIMULÁCIÓ: A TÁVOLSÁGI ÁGYÚZÁS FIZIKÁJA

Szabó Róbert
ELTE TTK IV. éves hallgató

Fizikatanárként fontos belátni, hogy a hagyományos fizikaoktatás új és izgalmas megoldásokat igényel. Azonban – a középiskolai matematika tanterv korlátozása miatt – a fizikát is csak észszerű keretek között lehet tanítani, így azt szükséges lenne a kevésbé ismert, számítógépes ábrázolás útján is megvizsgálni. Tudományos diákköri kutatásom témáját ezért a középiskolai oktatásban sem magyarázott fizikai tényezők bemutatása adta: milyen erők befolyásolják az ágyúból kilőtt, már pályán mozgó lövedék haladását. Dolgozatomban ezen tényezőkből kettőt (közegellenállás, Coriolis-erő) numerikus szimuláció útján is értékeltem, az egyes témákhoz pedig rövid történelmi felvezetést és számításos példákat választottam. Jelen cikk célja, hogy az általános bevezető után, a történelmi és fizikai szempontból érdekesebb effektust (Coriolis-erő) és annak történeti hátterére (Párizs-ágyú) kapott eredményeimet bemutassam, értékeljem, és további módszertani megállapításokat tegyek.

Fizika és történelem

Az Eötvös Loránd Tudományegyetem harmadéves hallgatójaként a tanári hivatásom két szakjához, a fizikához és történelemhez jól illeszkedő kutatási témát választottam [1]. Fontos belátni, hogy a tantárgyak között a fizika és a történelem olyan egyedi, kettős rendszert alkot, amely kapcsolat végtelen lehetőségeket rejt az oktatás fejlesztésében elmélyülő hallgatók, tanárok, kutatók számára. Hiszen – tudjuk – a történelem nem más, mint háborúk sorozata, a háborúkat, azok harceszközeit pedig évezredek óta a fizika tudománya és a mérnöki technika támogatta és támogatja ma is. Így a múlt hadieseményeit áttekintve nem hagyhatjuk figyelmen kívül azok tudományos hátterét sem, legyen az például az ókor egyik nagyszabású hadjárata, várostrom a három részre szakadt Magyarországon, vagy az első és a második világháború gépesített pokla. A téma kimeríthetetlen forrásai közül a számomra legizgalmasabb vállalkozás az ágyúlövedék fizikájának történész szemmel is górcső alá vett elemzése lett, amikor első éves egyetemista hallgatóként, a mechanikagyakorlat keretein belül ágyúmechanikával kapcsolatos feladatokat (ferde hajítás, impulzusmegmaradás) oldottunk meg.

Történelmi felvezetés

A tüzérség már az ókorban is ismert és nagy hatékonysággal alkalmazott fegyvernem volt a magasabb és erősebb falak, építmények ellen. Az eszközöket még nem lőpor hajtotta, de a lövedékek fejlődése már akkor megkezdődött. Az ókori görögök és a középkor tüzérei eleinte főként megmunkált kő- (azon belül gránit), esetleg fémgolyókat (bronz, ólom, vas) lőttek, majd elterjedtek a lőporral töltött üreges és meggyújtott, úgynevezett robbanólövedékek is. A török terjeszkedés során megjelent a kettős fémgömbből álló, lánccal összekötött lövedéktípus, amely főként hajók vitorlarendszerében okozott hatalmas károkat. A kora újkori, zömök felépítésű mozsarak – ezeket főleg tengeri ütközetekben, várostromok során, vagy közvetlen összecsapásban alkalmazták a felek – többsége azonban kevésbé hatékony és csupán kicsiny lőtávolsággal rendelkező ágyúnak tekinthető [2].

Amikor távolabbra lőttek…

A viszonylag precíz és nagyobb távolságra is eljutó ágyúgolyó mozgása nem más, mint ferde hajítás, ám nem az iskolából ismert legegyszerűbb formájában. *Galilei* is úgy jutott el a szabadesés és ferde hajítás matematikai leírásához, hogy ágyúkat elsütve próbált rájönni, milyen feltételek szükségesek a célba találáshoz és ezek milyen kapcsolatban állnak más fizikai tényezőkkel. A ferde hajítást a középiskolai fizikaoktatásban azonban csakis vákuummegoldásban ismerhetjük meg, a valóságban viszont, az újkori technikákat vizsgálva és nagyobb távolságot feltételezve már olyan fizikai hatásokkal is számolnunk kell, mint a levegő közegellenállása, vagy a szél iránya és nagysága. A célba érés tökéletességét a mozgás során fellépő oldalgás és párnahatás – amely forgásba hozta az eredetileg egyenes irányban kilőtt ágyúgolyót – is nehezítette [3].

Az ekkor már ballisztikusnak nevezett mozgáspálya koordinációjára az újkorban a vontcsövű ágyút fejlesztették ki. Azután, ahogy a lövedékek is

---

Köszönetemet fejezem ki *Abonyi Ivánnak* diákköri dolgozatom témavezetéséért és *Tél Tamásnak,* hogy alaposabban is elmélyülhettem a Coriolis-hatás dinamikájában, továbbá a numerikus eljárás megismertetéséért és azért, hogy felhívta figyelmem az analitikus megoldásra.

Szabó Róbert az Eötvös Loránd Tudományegyetem fizika-történelem tanárszakos hallgatója. Középiskoláját a Kalocsai Szent István Gimnáziumban végezte. Egyetemistaként főként olyan témákban kutat, amelyekkel a fizika és történelem összekapcsolására törekszik, az elkészített tananyagokkal pedig a tanárok munkáját segíti. 2016-os tudományos diákköri munkájában az ágyúból kilőtt lövedék mozgása során fellépő erőhatásokat vizsgálta, megfelelő történelmi hátteret párosítva hozzá.

1. ábra. Az először az első világháborúban alkalmazott, akár 100 kilométer távolságból is pontosan célozni képes, 42 kaliberes mozsárágyút, amelyet a Krupp-művekben készítettek – a gyáros feleségéről, Berta Kruppról – *Kövér Bertának* nevezték. A képeslap rajzolója kiválóan érzékelteti az ágyú-ember méretviszonyokat (saját képeslap).

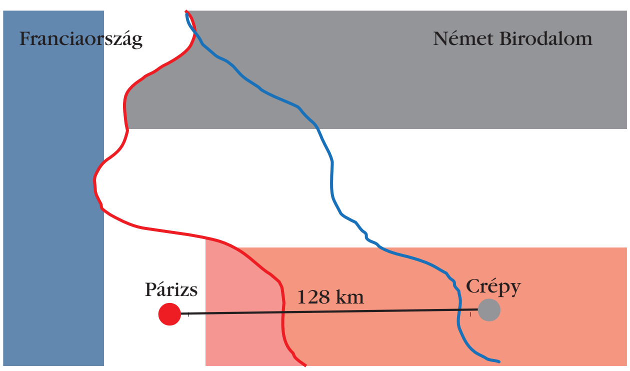
egyre nagyobbak és pusztítóbbak lettek, úgy változott az ágyúk szerkezete és mérete is. A 19. század utolsó évtizedeiben és a 20. század első felében megkonstruált óriások már képesek voltak akár 100 kilométer távolságra is lőni (*1. ábra*), sőt nagyjából pontosan célba találni. Ehhez azonban a lövedék mozgása során egy újabb fizikai effektust – amelyet a Föld forgásából adódó elmozdulás okoz – kellett figyelembe venniük [4].

Egy utolsó csodafegyver

A cikk fő részét képező Coriolis-hatás hadászati jelentőségéhez elsőként a történelmi háttér elemzése szükségeltetik. Az effektus más háborúkban is szerepet játszott, de *Gaspard-Gustave Coriolis* (1792–1843) felismerése a 19. századra esett, így azt az első világháború egy eseményéhez – ahol már számoltak a Coriolis-erővel – kötöm.

Az 1914 júliusának végén kirobbanó első világháború kezdetén a két ellenséges hatalmi tömb, a központi hatalmak (köztük a Német Birodalom) és az antant (köztük Franciaország) gyors és győzelmes háborút remélt és nem számolt a front megmerevedésével, vagyis az állásharc kialakulásával. A fedezékekbe húzódó ellenséges katonák sorozatos támadás-ellentámadásban őrölték egymást, ám a viszonylag azonos katonai potenciál miatt a front áttörése lehetetlennek tűnt. Az elhúzódó háborúban a győzelem reménye már csak a hátországok gazdasági és háborús teljesítőképességén múlott, főként az élelmiszer- és hadianyag-termelés terén. Az antant színeiben küzdő Nagy-Britannia tengeri blokáddal zárta el a német kereskedelem útját, meggátolva, hogy a polgári lakosság (és ezáltal a hadsereg) tengerentúli nyersanyaghoz, utánpótláshoz jusson. A szinte kimeríthetetlen tartalékokkal rendelkező Anglia és Franciaország maga mellett tudta a hadianyagot és felszerelést szüntelenül továbbító Amerikai Egyesült Államokat is, miközben az éhező és legyengült német katonák napjai meg voltak számlálva.

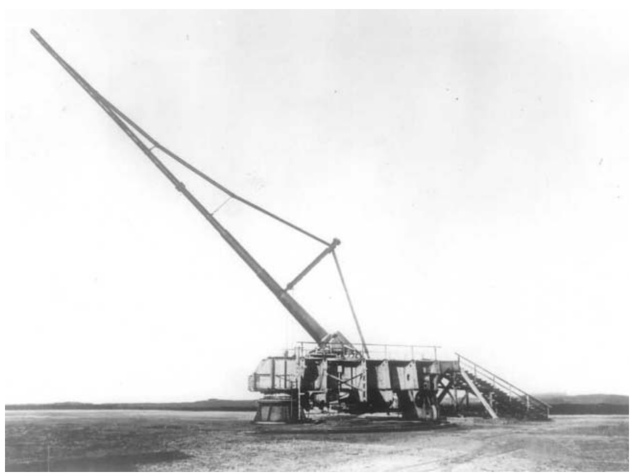
2. ábra. Az 1918-as nyugati front vázlatos térképe. A kék vonal a német *Tavaszi-offenzíva* kiindulási állását, a vörös pedig a támadás legnagyobb kiterjedésében elért frontvonalat mutatja. A Crépyben felállított *Párizs-ágyú* mintegy 128 km távolságból tüzelt Párizsra.



Ezért szánta el magát 1918 tavaszán a német vezérkar arra, hogy négy év sikertelen próbálkozás után egy utolsó, mindent eldöntő támadást indít Franciaország ellen, és a front áttörésével még azelőtt foglalja el Párizst, hogy az USA már nem csak gazdasági, de katonai szinten is beavatkozna az európai harcokba. Az óriási szervezéssel és élőerővel támogatott német hadjárat, a „császár csatája" (németül Kaiserschlacht) töretlen erővel indult meg 1918 márciusában és jelentős területet kebelezett be a francia államból. Ugyanakkor, amíg a katonák árokból árokba hatoltak előre, a vezérkar Crépy mellett (*2. ábra*) állította fel új csodafegyverét, amelyről az akkori technológia másutt álmodni sem mert [5].

A *Párizs-ágyúnak* nevezett monstrumot (*3. ábra*) kettős céllal állították fel. Egyrészt méretével és lövedékeinek pusztításával kellett megfélemlítenie Párizs lakosságát és egyben jeleznie, hogy a német hadsereg már közel jár, bármikor győzedelmeskedhet; másrészt, hogy pánikot keltve menekülésre, illetve fegyverletételre késztesse a francia kormányt. Az ágyú csöve 180 000 kg-ot nyomott, saját súlya alatt meghajlott, így egyenesben tartását egy önhordó csigasorral kellett biztosítani. A majdnem 1 méter

3. ábra. A rettegett Párizs-ágyú [7].



hosszú lövedékek 104 kg-ot nyomtak. Az ágyú csőtorkolati sebessége elérte a $v(t=0)$ = 1600 m/s-ot. Működtetéséhez mintegy 60 tüzérre volt szükség, és egy-egy lövés után a cső annyira felforrósodott, hogy 24 óra alatt sem hűlt le környezete hőmérsékletére [6]. Crépy és Párizs légvonalban 128 kilométerre vannak egymástól, így már nem csak a sokak által ismert közegellenállás, Magnus-hatás és más kisebb effektusok játszanak szerepet. A forgó rendszerben – azaz a forgó Földön – nagy távolságra mozgó lövedékre már a Coriolis-erő is döntő befolyást gyakorol.

Mozgáskövetés iterációs eljárással

Az elemzés eszközének az iterációs eljárást választottam, amelynek lényege, hogy már ismert adatokból kis Δt idő elteltével új adatokat határozunk meg, és ezt számítógéppel, numerikusan tesszük. Így a bonyolultsága miatt analitikusan nem megoldható, vagy kézzel már nem számolható differenciálegyenletek is megoldhatók. A számoláshoz a tanulók által is könynyen kezelhető és gyakorta ismert Excel-programot[1] használjuk.

Az eljárás lényege az, hogy a Newton-egyenletet differenciálegyenletté írjuk át (lásd például [8]). Egyetlen tömegpont esetén az $\boldsymbol{F}(\boldsymbol{r},\boldsymbol{v})$ erőtörvény egyértelműen megadja az $\boldsymbol{a}(\boldsymbol{r},\boldsymbol{v})$ gyorsulásfüggvényt. Az $\ddot{\boldsymbol{r}} = \boldsymbol{a}(\boldsymbol{r},\boldsymbol{v})$ egyenletet két elsőrendű rendszerként írva: $\dot{\boldsymbol{r}} = \boldsymbol{v}$, $\dot{\boldsymbol{v}} = \boldsymbol{a}(\boldsymbol{r},\boldsymbol{v})$. Mindkét deriváltat Δt időlépéshez tartozó differenciahányadosként értelmezve és Δt-vel szorozva az $\boldsymbol{r}_n = \boldsymbol{r}(n\Delta t)$, $\boldsymbol{v}_n = \boldsymbol{v}(n\Delta t)$ jelöléssel az

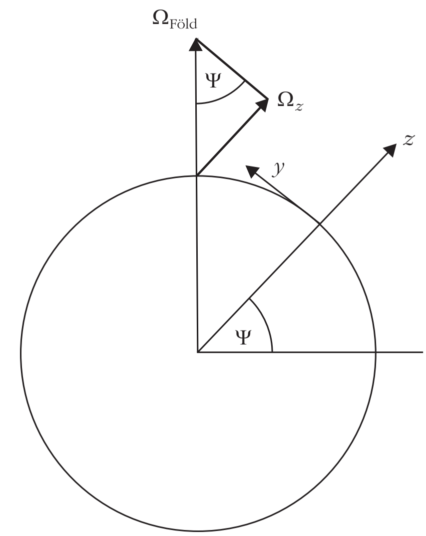
$$\begin{aligned} \boldsymbol{r}_{n+1} &= \boldsymbol{r}_n + \boldsymbol{v}_n \Delta t, \\ \boldsymbol{v}_{n+1} &= \boldsymbol{v}_n + \boldsymbol{a}(\boldsymbol{r}_n, \boldsymbol{v}_n)\,\Delta t \end{aligned} \tag{1}$$

iterálást kapjuk. Az $\boldsymbol{r}_0$, $\boldsymbol{v}_0$ kezdőfeltételből indulva egyértelműen következik az $\boldsymbol{r}_1$, $\boldsymbol{v}_1$, $\boldsymbol{r}_2$, $\boldsymbol{v}_2$ vektorsorozat, vagyis a mozgást leköveti az iterációs eljárás, ami elegendően kis Δt esetén nagyon jól közelíti az eredeti differenciálegyenlet megoldását. A lövedék mozgásának teljes leírásakor $\boldsymbol{a}(\boldsymbol{r},\boldsymbol{v})$ az összes ható erőből származó gyorsulásjárulékot tartalmazza.

A lövedék mozgásának szemléltetése

Dolgozatomban [1] – a fenti történelmi példában a közegellenállást és a Coriolis-hatást is figyelembe véve – a Crépy városában felállított ágyúból kilőtt lövedék röptét vizsgáltam. Jelen cikkben azonban – az egyszerűsítés érdekében – eltekintek a közegellenállástól és csupán a Coriolis-hatás vizsgálatával foglalkozom. Ugyanebből a célból az ágyúgolyót egy vízszintes síkban mozgó tömegpontnak tekintem.

[1] A *Microsoft Excel* táblázatkezelő alkalmazás egyenletek és akár bonyolultabb matematikai számolások eredményeinek megadására alkalmas. Az egyes adatok a számolótáblába való helyezés után módosíthatóvá és formázhatóvá válnak, kijelölt értékeikre pedig diagram is illeszthető.



4. ábra. A Coriolis-eltérülés szimulációjához készített koordinátázás a forgó Föld rendszerében. A rajzon $\Omega_{\text{Föld}}$ jelöli a Föld szögsebességét, Ω_z pedig annak helyi függőleges vetületét (Ψ a földrajzi szélesség szöge).

Célunk, hogy a szimuláció megoldásával választ kapjunk a kérdésre: mekkora eltérést kapunk numerikusan, a középiskolai módszerrel számolthoz képest? Mindamellett választ próbálok adni arra is, hogyan kell lőnünk az ágyúval ahhoz, hogy az eltérítő hatást kiküszöböljük és a lövedék pontosan célba érkezzen.

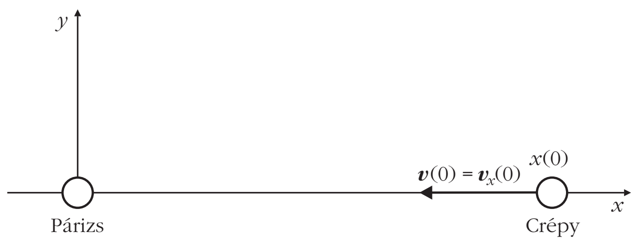
Koordinátázás

A vízszintes síkban történő mozgás leírásához a Föld $\Omega_{\text{Föld}}$ forgását jellemző szögsebesség helyi függőleges vetülete szükségeltetik, amelyet a *4. ábra* szerinti egyszerű szögfüggvény ad meg:

$$\Omega_z = \Omega_{\text{Föld}} \sin\Psi. \tag{2}$$

A rajzon szereplő Ψ a földrajzi szélesség szöge. A térkép (*2. ábra*) leolvasása során azonban látszik, hogy a két város földrajzi szélessége között mindössze 0,9° különbség van, így ezen különbséget elhanyagolhatónak választottam, és értékét a két városra azonosnak, Ψ = 48,5°-nak vettem. A Föld ismert $\Omega_{\text{Föld}} = 7{,}3\cdot10^{-5}\ \text{s}^{-1}$ szögsebességével számolva, $\Omega_z = 5{,}5\cdot10^{-5}\ \text{s}^{-1}$.

5. ábra. A Coriolis-erő szimulációjához használt – x a kelet–nyugati röptávolság, y az észak–déli vízszintes eltérülés – koordinátarendszer a kezdeti $y(0)$ = 0, $v_y(0)$ = 0 feltételek jelölésével.



1. táblázat

Az (1) differenciálegyenlet megoldását adó Excel-tábla első és utolsó néhány sora a számolt értékekkel

	A oszlop t (s)	B oszlop $x(t)$ (m)	C oszlop $v_x(t)$ (m/s)	D oszlop $y(t)$ (m)	E oszlop $v_y(t)$ (m/s)
1. sor	0	128000	−565,50	0	0
2. sor	0,1	127943	−565,50	0	0,00622
3. sor	0,2	127887	−565,49	0,00062	0,01244
4. sor	0,3	127830	−565,49	0,00187	0,01866
5. sor	0,4	127774	−565,49	0,00373	0,02488
…					
2264. sor	226,3	40,55	−565,32	1592,03	14,0755
2265. sor	226,4	−15,98	−565,32	1593,43	14,0818

Az utolsó előtti sorban x még pozitív, azaz a lövedék még repül, az utolsó sorban az x már negatív, tehát e két időpillanat között célba ért. E két sorban lévő y értékek átlagát, 1592,7 m-t tekintjük az eltérülés keresett értékének.

Az első eredmény

Excel-táblázatunk első két sorában a kezdeti paraméterek, míg a továbbiakban az azokat felhasználó, számolt értékek láthatók. Az *1. táblázat A oszlopában* az indulás óta eltelt idő szerepel a szimuláció lépésközének – 0,1 másodpercet választottam – megfelelő időkülönbséggel.[3] A táblázat *B* és *D oszlopában* rendre a vízszintes röptávolság és az észak–déli eltérülés értékeit méterben, míg a *C* és *D oszlopában* rendre a vízszintes irányú röpsebességet és az észak–déli eltérülés sebességét, m/s-ban láthatjuk.

A mozgást leíró függvényhez derékszögű koordinátarendszert veszünk fel, az x (kelet–nyugati) tengely a két várost köti össze, az y (észak–déli) tengelyen pedig majd a észak–déli eltérülés nagyságát kapjuk meg (*5. ábra*). A lövedék kiindulási pontja Crépy, célja 128 kilométerre, azaz $x(0)$ = 128 000 méterre Párizs középpontja. Mivel az ágyú is az x tengelyen van, $y(0)$ = 0, és az origó felé célozva a kezdeti $v_y(0)$ ugyancsak nulla. A tipikusan 45°-os szögben történt tüzelés esetén $v(0)$ = 1600 m/s csőtorkolati sebességet használva, az észak–déli irányú, kezdeti sebességkomponens

$$v_x(0) = -v(0)\cdot\cos 45°. \tag{3}$$

Ennek 1131 m/s nagysága a levegő közegellenállása miatt a mozgás során jelentősen lecsökken, a teljes útra átlagsebességet feltételezve a továbbiakban ennek felével,

$$v_x(0) = -565{,}5 \text{ m/s} \tag{4}$$

értékkel számolunk.

Vízszintes síkban történő mozgás esetén a Coriolis-erő két komponense $2m\boldsymbol{\Omega}_z v_y$ és $2m\boldsymbol{\Omega}_z v_x$ [9], vagyis a differenciálegyenletet meghatározó[2] $\boldsymbol{a}(\boldsymbol{r},\boldsymbol{v})$ gyorsulásfüggvény:

$$\boldsymbol{a} = \left(2\boldsymbol{\Omega}_z v_y,\ -2\boldsymbol{\Omega}_z v_x,\ 0\right). \tag{5}$$

Ezt a kifejezést használjuk az (1) iterációban.

Az Excel által végigszámolt adatokból kirajzolódik a Coriolis-erő miatt eltérült röppálya képe (*6. ábra*). Az iteráció alapján (*1. táblázat*) látható, hogy a Párizs-ágyú lövedéke, mialatt eléri az $x_{cél}$ = 0 távolságot, azaz Párizst, a középponttól $y_{cél}$ =1592,7 méter, azaz körülbelül 1,6 kilométeres eltérülést szenved.[4] Egy háborúban – pláne, ahol négy évnyi küzdelem után végre felül lehet kerekedni a kitartó ellenségen – ilyen mértékű mellélövés nem megengedhető!

Korrekció a zérus eltérüléshez

A németek ismerték a Coriolis-erőből adódó eltérülést, vajon hogyan módosíthatták a célzást ahhoz, hogy a lövedék pontosan, azaz zérus eltérüléssel érkezzen célba (*7. ábra*)?

A repülési idő 226,3 másodperc, ez alatt a Coriolis-erő 1593 méterre, északra térítette el a lövedéket. Egy extra, e távolságot pont ennyi idő alatt megtévő 7,04 m/s déli irányú sebességkomponens – amely se-

[2] Az $\ddot{x} = 2\boldsymbol{\Omega}_z\dot{y}$, $\ddot{y} = -2\boldsymbol{\Omega}_z\dot{x}$ differenciálegyenlet lineáris, ezért (bár nem középiskolás módszerrel) megoldható. Az eredmény:

$$x(t) = \frac{v(0)}{2\boldsymbol{\Omega}_z}\sin\left(2\boldsymbol{\Omega}_z t-\beta\right) + \frac{v_y(0)}{2\boldsymbol{\Omega}_z} + x(0),$$

$$y(t) = \frac{v(0)}{2\boldsymbol{\Omega}_z}\cos\left(2\boldsymbol{\Omega}_z t-\beta\right) + \frac{v_x(0)}{2\boldsymbol{\Omega}_z} + y(0),$$

ahol

$$\mathrm{tg}\beta = \frac{v_y(0)}{v_x(0)} \quad \text{és} \quad v(0) = \sqrt{v_x^2(0)+v_y^2(0)}.$$

[3] Minél kisebb időközzel dolgozunk, eredményünk annál pontosabb és szemléletesebb lesz.

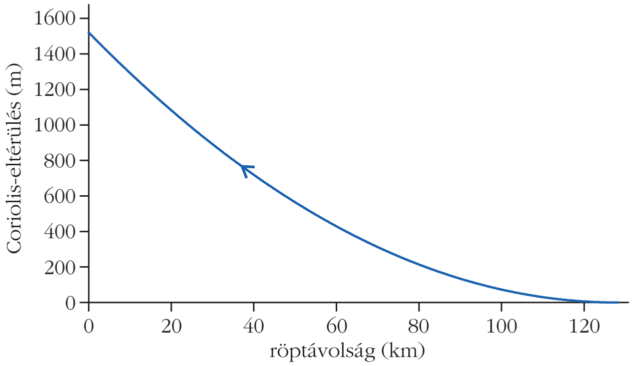
[4] Az egzakt megoldás alapján a pálya az

$$\left(x - x(0) - \frac{v_y(0)}{2\boldsymbol{\Omega}_z}\right)^2 + \left(y - y(0) + \frac{v_x(0)}{2\boldsymbol{\Omega}_z}\right)^2 = \frac{v^2(0)}{\left(2\boldsymbol{\Omega}_z\right)^2}$$

egyenletű kör. A környezeti áramlások irodalmában a vizsgált mozgást tehetetlenségi körmozgásnak nevezik, ugyanis a széllökések által elindított óceáni víztömegek az ilyen egyenletű körökön mozognak [10, 11]. Az $y(0)$ = 0, $v_y(0)$ = 0 kezdőfeltételekkel a Párizs középpontjának megfelelő x = 0 koordinátához tartozó $y_{cél}$ értékre másodfokú egyenletet kapunk, amelyből

$$y_{cél} = \frac{|v_x(0)|}{2\boldsymbol{\Omega}_z} - \sqrt{\left(\frac{|v_x(0)|}{2\boldsymbol{\Omega}_z}\right)^2 - x^2(0)}\ .$$

Mivel $x(0) = 1{,}28\cdot10^5$ m és $|v_x(0)|/(2\boldsymbol{\Omega}_z) = 5{,}14\cdot10^6$ m, ezért a becsapódáskori eltérés, $y_{cél}$ = 1593,7 m. Numerikus közelítéssel számolt eredményünk tehát ezrelék pontossággal megegyezik az egzakt megoldás értékével.



6. ábra. A Coriolis-eltérülés a vízszintes röptávolság függvényében ($x(0)$ = 128 000 m, $v_x(0)$ = −565,5 m/s).

besség két nagyságrenddel kisebb, így nem befolyásolja a lövedék repülési átlagsebességét – éppen kompenzálja az eltérülést. Ennek segítségével:

$$\mathrm{tg}\beta = \frac{v_y(0)}{v_x(0)}, \tag{6}$$

ahol β az a korrekciós szög, amellyel az ágyú tüzelési irányát délre – azaz balra – kell módosítani. Az ismert adatokból ekkor tgβ = 0,0125, vagyis β = 0,0125 rad = 0,71° lesz a korrekciós szög.[5] Eredményünket numerikusan, az Excel-táblázatkezelővel is ellenőrizhetjük, grafikonon megjeleníthetjük (*8. ábra*).

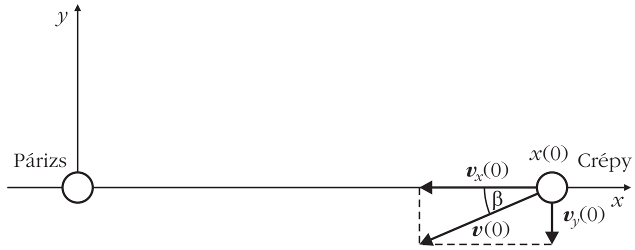
Diszkusszió, eredmények

Két fontos kijelentést fogalmazhatunk meg. Egyrészt, hogy az Excel-program által számolt eredmények azonosak a szimuláció nélkül végrehajtott, egzakt módon megoldható differenciálegyenletek számításaival. Másrészt – és ezt már a történelemtanár mondatja velem – kijelenthetjük, hogy a demoralizáló csodafegyverként felállított Párizs-ágyú hatékonysága meg kellett feleljen a német vezérkar elvárásainak, hiszen a birodalom mindent erre az utolsó, döntő szereppel bíró kártyára tett fel. Addigra a jelenség jól ismert volt, és ezért már kompenzáló célzóberendezést használtak, ahogy arról *Horváth Árpádtól* is olvashatunk [12].

Párizs ágyúzásakor más, technikai okokból fellépő hibák is jelentkeztek, mint a csőtágulásból adódó célzási pontatlanság, a huzagolás és az ágyú csövének egyenesben tartása, valamint a nehéz kezelés és irányíthatóság. Ezen problémák azonban a használat „természetes”, nem javítható velejárói voltak. Ellenben, a Coriolis-erő hatásának kiküszöbölése megoldható feladatnak tűnt!

Cikkünkben, amellett, hogy egy speciális történelmi eseményen keresztül fizikával foglalkoztunk és összekötöttük e két tantárgy egyedi vonásait, a kö-

[5] A pályát megadó kör akkor megy át az origón, ha $v_y(0) = -x(0)\,\Omega_z$ és tg$\beta = x(0)\,\Omega_z / |v_x(0)|$. Adatainkkal $v_y(0)$ = 7,040 m/s és tgβ = 0,01245 radián, vagyis a numerikus eredmények ismét legalább ezrelék pontossággal közelítik az egzaktot.



7. ábra. Az ágyút kis β szöggel délre irányítva kapott sebességviszonyok: $v_y(0)$ kicsi értéke miatt $v_x(0) \approx v(0)$ kezdősebességgel.

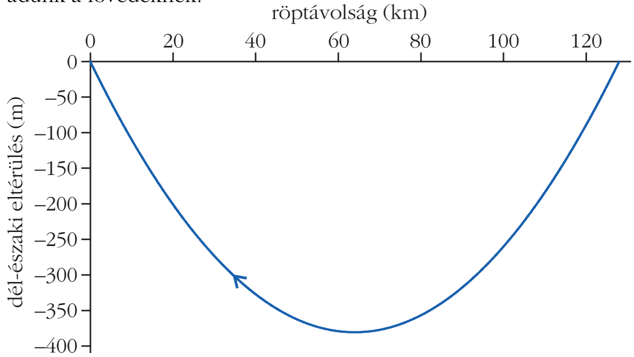
zépiskolai fizikaoktatás egy új módszerét használtuk. Az ágyúgolyó mozgásakor fellépő közegellenállás és Coriolis-erő középiskolai oktatása csakis az iteráló módszer segítségével lehetséges, hiszen azt a tantervek sem tartalmazzák a matematikai háttér bonyolultsága és a háttérelmélet hiányzó részei miatt. Ugyanakkor a leírás rendkívül leegyszerűsödik, ha az iteráló program eszközéül a középiskolában is tanított és könnyű kezelhetőséggel rendelkező Excelt használjuk. Segítségével a tanulók önálló következtetések levonására is képesek.

Dolgozatommal példát kívánok mutatni és inspirálni szeretném a jövő pedagógusait, hogy hasonló témákat keressenek és kutassanak, és azokat szimulációkkal, vagy a témához kapcsolódó gyakorlati példákkal lássák el. Fizika és történelem szakpárom találkozási pontja lehet például az ókori Egyiptom múmiáinak radiokarbon kormeghatározása, az atombomba fizikája és annak történeti háttere, illetve a jövő tudományát érintő drónok technológiája is. Ugyancsak izgalmas kutatási téma lehet az irodalom és a fizika együttes vizsgálata.

Irodalom

1. Szabó Róbert: *Pályán az ágyúgolyó*. Tudományos diákköri dolgozat, ELTE TTK, 2016.
2. Horváth Árpád: *Az ágyú históriája*. Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest (1966) 47–94.
3. Horváth Árpád: *Az ágyú históriája*. Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest (1966) 214.
4. Horváth Árpád: *Az ágyú históriája*. Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest (1966) 215.
5. Horváth Árpád: *Az ágyú históriája*. Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest (1966) 212.
6. Horváth Árpád: *Csodafegyverek*. Zrínyi Katonai Lap- és Könyvkiadó, Budapest (1972) 49–50.

8. ábra. A Coriolis-eltérülés mértéke zérus, ha az ágyúcsövet kissé balra állítva 7,04 m/s déli irányú, vízszintes sebességkomponenst adunk a lövedéknek.



7. Háborús szörny 2. Párizs-ágyú. http://www.keptelenseg.hu/keptelenseg/haborus-szorny-2-69474
8. R. P. Feynman, R. B. Leighton, M. Sands: *Mai fizika I. A modern természettudomány alapjai. A mechanika törvényei.* Műszaki Könyvkiadó, Budapest (1970) 120–125.
9. Tasnádi Péter, Skrapits Lajos, Bérces György: *Mechanika I.* Dialóg Campus Kiadó, Budapest–Pécs (2004) 276–279.
10. Tél Tamás: A Coriolis-erő és a környezetfizika: a lefolyótól a ciklonokig. *Fizikai Szemle 56/8* (2006) 263–267.
11. Jánosi Imre, Tél Tamás: *Bevezetés a környezeti áramlások fizikájába: Légköri, óceáni folyamatok és éghajlati hatásaik.* Typotex Kiadó, Budapest (2002).
12. Horváth Árpád: *Csodafegyverek.* Zrínyi Katonai Lap- és Könyvkiadó, Budapest (1972) 50.

PROBLÉMAALAPÚ TANULÁS EGY NYERTES PÁLYÁZAT TÜKRÉBEN

Gyermán György
Szent József Általános Iskola, Gimnázium, Szakgimnázium és Kollégium, Debrecen

Az elmúlt, 2016–2017-es tanévben két 11. évfolyamos, gimnazista tanítványom ösztöndíjat nyert *Település közvilágításának, tűzvédelmének, jelzőlámpáinak számítógépes vezérlése* című pályázatához (UT-2016-0006).

A pályázat lényege egy olyan településmakett elkészítése, amelyen a címben leírtak a valóságosnak megfelelően (vagy egy kicsit jobban) valósulnak meg.

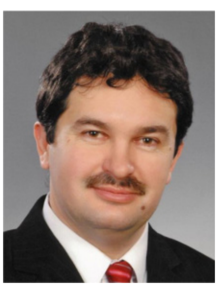
A települést egy bútorlapokból készült, lábakon álló terepasztalon hozták létre a tanulók. A megtervezésénél figyelni kellett arra, hogy a vezetékek, relé, konverter biztonságban, a nézők számára nem hozzáférhető helyen legyenek, azonban legyen lehetőség a későbbi alakításra, fejlesztésre (oldható kötések). A makettet plexivel fedtük le. A terepasztal elkészítéséhez a terveket AUTOCAD-ben rajzoltuk meg. A házak, kórház, tűzoltóság, utak kartonpapírból készültek (*1. ábra*).

1. ábra. A település makettje nappal.

A település közvilágítását tanulóim LED-ekkel oldották meg. A közvilágítás be- vagy kikapcsolását a környezet fényerősségének – amelyet egy fotoellenállás érzékel – megfelelően vezérli a szoftver.

A fotoellenállás nagysága a fényerősség csökkenésével növekszik. Ezt felhasználva egy előre beállított értéknél kapcsol be a világítás a településen. A közvilágítást 18 darab erős fényű fehér LED jelenti, amelyek a „közlekedő” autók (4 darab) fehér és piros lámpáival párhuzamosan vannak kapcsolva (*2. ábra*).

2. ábra. Sötétedéskor bekapcsol a közvilágítás és az autók lámpája is felgyullad.



Gyermán György a debreceni Szent József Általános Iskola, Gimnázium, Szakgimnázium és Kollégium matematika-fizika-informatika szakos középiskolai tanára már több mint negyed századа van a pályán. Publikál matematikából és fizikából. Mérési szoftvereket ír a fizika tanításához, némelyek alkalmazásáról oktatófilm is készült (videotórium). Tanulói mindhárom tantárgyából sikeresen versenyeznek. Elkötelezett tehetséggondozó tanár.