

30. ábra. Cyril Isenberg, University of Kent at Canterbury

sérleti eszközt használva, a szappanhártyák könnyen megmutatják a legjobb úthálózatot, a legrövidebb utat.

A matematikusok azóta is érdeklődéssel fordulnak e terület felé, a huszadik század elején a magyar származású *Radó Tibor* (29. ábra, jobbra) fejtett ki jelentős tevékenységet a minimálfelületek analitikus meghatározása terén [1].

Manapság egész kémiai iparág alapul a szappanhabok, illetve az azokat felépítő szappanhártyák tudományán. A nagyon eltérő, és rendkívül sokféle feladatot ellátó haboknak sok elvárásnak kell megfelelniük. Így még mindig van mit vizsgálni, hogy jobban megismerjük, és még szélesebb körben használhassuk ezeket a bonyolult fizikai-kémiai rendszereket. E munkához szinte alapmű *Karol Joseph Mysels* (1914–1998) szappanhártyák vékonyodási mechanizmusait ismertető könyve, a *Soap films: Studies of their thinning and bibliography*. *Cyril Isenberg* (30. ábra) a *The Science of Soap Films and Soap Bubbles* című, komoly szakmai igényekkel megírt könyvében, a fizikus és a kémikus is megtalálja a számára érdekes fejezeteket. A könyv nagy segítséget nyújt a szappanhártyák és szappanbuborékok népszerűsítéséhez, sokoldalú felhasználásuk hátterének megértéséhez.

Irodalom

1. Cyril Isenberg: *The Science of Soap Films and Soap Bubbles*. Dover Publication, Inc., New York, 1992.
2. *Báró Eötvös Loránd Emlékkönyv* (szerk.: Fröhlich Izidor) Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, 1930, 97–111.
3. Plate from Ernst Haeckel's 1904 *Kunstformen der Natur* (Artforms of Nature), showing radiolarians belonging to the superfamily Stephoidea.
4. <http://www.aif.it/FISICI\7/F19\1b.jpg>
A külön nem hivatkozott képek többnyire a Wikipedia internetes forrásból származnak.

A FIZIKA TANÍTÁSA

LEWIS A. RYGG (1893) KLASSZIKUS MECHANIKUS LOVA – a ló megépítése, és mozgásának elemzése: eszköz a négylábú állatok lábmozgásának szemléltetésére és elemzésére

Bogár Attila, Bedőcs Imre, Horváth Gábor
ELTE Biológiai Fizika Tanszék

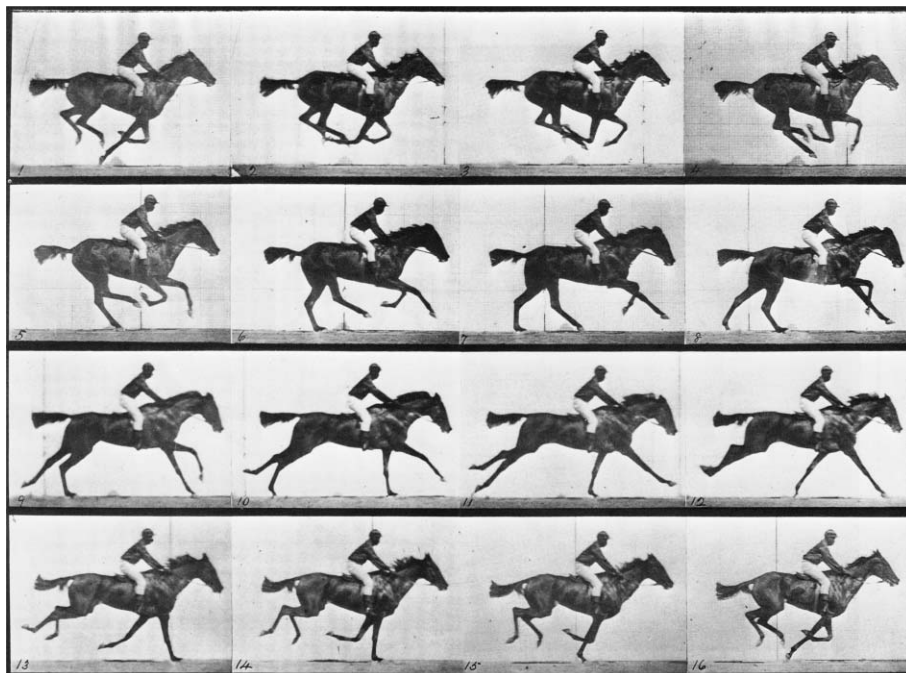
Írásunk célja a *Lewis A. Rygg* 1893. évi amerikai szabadalmában leírt mechanikus ló megépített modellje lábmozgásainak elemzése. A szerkezet lábmozgásainak megfelelő beállításával a négylábúak lépéssorrendjét szemléltető modellt kapunk, ami oktatási célra is alkalmas. A szabadalomban nem szerepeltek az alkotóelemek pontos méretei, de azt tudjuk, hogy e mechanikus lovat Rygg arra tervezte, hogy egy ember meg tudja lovagolni. Megépítettük e valós nagyságú mechanikus ló kicsinyített változatát. A lómodell meg-

tervezése először számítógépen, 3 dimenzióban történt, majd e terv alapján elkészítettük a 15%-os kicsinyített modellt. A számítógépes és a valódi modell elkészülte után mindkettőn beállítottuk a hatféle lehetséges lépéssorrendet a fogaskerekek egymáshoz viszonyított szögeinek módosításával, és az egyes lépésmódokról filmet is készítettünk. Már a számítógépes lómodell lábmozgásán is látható volt, hogy a szerkezet valószínűleg alkalmatlan lenne járásra. A számítógépes szimuláció még nem tartalmazta a sza-

badalomban leírt rugókat, ezért volt szükség a mechanikai szerkezet megépítésére. A megépült mechanikus lómodell járását elemezve kiderült, hogy a szabadalomban leírt és ábrázolt szerkezet – az eredetileg megtervezett formájában – stabil, biztonságos járásra képtelen lett volna. Némi módosítással azonban kiváló eszköz válhat belőle a négylábúak lábmozgásainak demonstrálására.

Mechanikus négylábú állatgépezetek

A 19. század utolsó negyedében, az 1870-es években elsőként *Eadweard Muybridge* kezdett el komolyan foglalkozni a lovak és más négylábú állatok mozgásával [1]. A lómozgás fényképes rögzítésével végzett kísérleteit 1872-ben kezdte, amikor *Leland Stanford* amerikai milliomos annak vizsgálatával bízta meg, hogy a lo-



1. ábra. Muybridge fényképsorozata egy vágató lóról (először 1887-ben publikálta Philadelphiában, wikipedia.org).

vak vágójakor van-e olyan pillanat, amikor mind a négy lábuk a levegőben van. Kísérleteiben 12-24 fényképezőgépet használt, rövid, 1/1000 másodperces záridővel, ami a kor egyik kiemelkedő fotográfiai teljesítménye volt, amit szabadalmazott is. Már első fényképei is bizonyították (1. ábra), hogy a lovak futásának egyes fázisaiban mind a négy láb a levegőben van [1]. Muybridge úttörő munkásságát követően több szabadalmazott mechanikus négylábú gépezet is született [2–7], amelyek magukon hordozták Muybridge eredményeinek nyomait.

Jóval korábban, még a szabadalmaztatás intézményének bevezetése előtt, 1515-ben *Leonardo Da Vinci* egy mechanikus oroszlánt tervezett, aminek nemrég megépítették a működő modelljét¹ (2. ábra). Leonardo mechanikus oroszlánja volt *I. Ferenc* francia király koronázási parádéjának fő mutatványa, amit *Giuliano de' Medici*, Nemours hercege mutatott be a királynak Lyonban, 1515. július 12-én.² A látványosságot fokozta, hogy amikor az oroszlángépezet a mozgása végén megállt, mellkasa kinyílt s tele volt különféle virágokkal. A mechanikus oroszlánmodell mozgása egy YouTube filmen is látható.³

Rygg mechanikus lóva

Az egyik leghíresebb klasszikus mechanikus lovat Lewis A. Rygg tervezte és szabadalmaztatta 1893-ban

¹ <https://grabcad.com/library/mechanical-lion>

² http://dangerousminds.net/comments/leonardo_da_vincis_incredible_mechanical_lion

³ https://www.youtube.com/watch?v=xNWE2AdfNuo&feature=player_embedded



Bogár Attila középiskoláját a győri Jedlik Ányos Gimnáziumban végezte. Programozó-hálózatfejlesztő OKJ képesítéssel bír. Az ELTE biofizika B.Sc. diploma megszerzése után önkéntes volt a Vöröskeresztnél, jelenleg grafikus egy komáromi digitális nyomdában.



Bedőcs Imre a Kandó Kálmán Műszaki Főiskola Villamosmérnöki Karán végzett mérnök, aki számos orvos- és labortechnikai műszer, valamint optikai felismerésen alapuló készülék gyártásában, fejlesztésében és szervizelésében vett részt. Korábban szerviz-, majd gyártásvezetőként dolgozott, jelenleg az ipari elektronika egyik piacvezető vállalatánál szervizmérnök.



Horváth Gábor fizikus, az MTA doktora, az ELTE Biológiai Fizika Tanszék Környezet-optika Laboratóriumának vezetője. A vizuális környezet optikai sajátosságait és az állatok látását tanulmányozza, továbbá biomechanikai kutatásokat folytat. Számos szakmai díj és kitüntetés tulajdonosa.

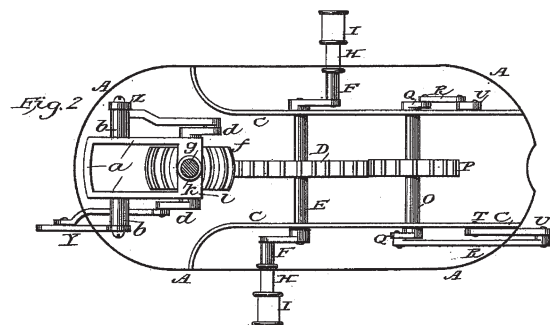
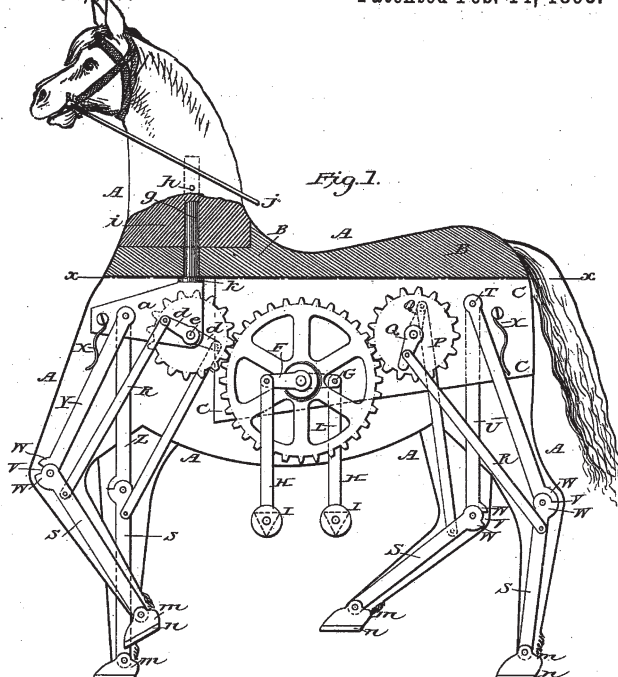


2. ábra. Leonardo újraépített mechanikus oroszlánja.

L. A. RYGG.
MECHANICAL HORSE.

No. 491,927.

Patented Feb. 14, 1893.



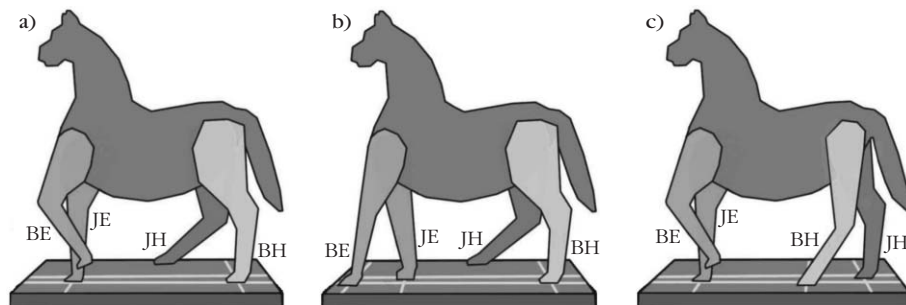
3. ábra. Rygg (1893) mechanikus lovának tervrajza oldalról (főnt) és felülnézetben (lent) [8].

(3. ábra) [8]. A 491927. számú amerikai szabadalmi leírás szerint a beadás idején nem létezett megépített modell, és arra sem találtunk bizonyítékot, hogy valaha megépítették volna [9]. A szabadalom szövegében Rygg a következőket írta: „Feltaláltam bizonyos új és hasznos fejlesztéseket a mechanikus lovakhoz. A találmány célja, hogy egy mechanikus lovat biztosítson, amely kényelmes méretű ahhoz, hogy egy ember lovagolhasson rajta és olyan felépítésű, hogy a lábával hajtsa.”

E mechanikus lovat eredetileg arra tervezték, hogy egy lovas pedálok segítségével hozhassa mozgásba. Egy kicsinyített modell viszont alkalmas a lovak és más négy lábúak lépéssorrendjének szemléltetésére. Ezzel hasznos demonstrációs eszközt kapunk, amely elősegíti a négy lábú járás optimális lépéssorrendjének bemutatását és oktatását.

Már első ránézésre megállapítottuk, hogy valami gond van e mechanikus lóval, mert lábtartása nem felel meg a lovak járásának, azaz lépés jármódjának [10, 11]. A 4. ábra a) része a mechanikus ló eredeti rajza alapján készült grafikai váz, míg a b), illetve c) részek a hibás járásábrázolás két lehetséges javítását mutatják, amelyek a mellső, illetve a hátsó lábpárt javítottuk az eredeti hátsó, illetve mellső lábpár megtartása mellett. E két javítási módon túl természetesen még sok más javítási lehetőség is létezik. Mi azt a kettőt adtuk meg, amelyek a legkevesebb beavatkozással járnak, vagyis az eredeti, helytelen járásábrázolásokhoz legközelebb állnak.

4. ábra. Lewis A. Rygg 1893-as mechanikus lovának helytelen kétláb-alátámasztásos járásábrázolása (a) és lehetséges javításai (b, c) [10, 11]. BE: bal első láb, BH: bal hátsó láb, JE: jobb első láb, JH: jobb hátsó láb.



A Rygg-féle ló számítógépes modellje

Először a Rygg szabadalmában leírt és ábrázolt mechanikus ló méreteit és arányait elemeztük, mert a leírásban pontos, számszerű adatok nem szerepeltek [9]. A szabadalom digitálisan is elérhető, ezért számítógépen vettük le a méreteket

a *Measure* nevű, ingyenesen elérhető programmal.⁴ Ezek után elkészítettük minden egyes alkatrész modelljét a számítógépes 3D modellező *Autodesk Inventor* program⁵ 2014-es verziójának segítségével.

⁴ <http://www.cthing.com/Measure.asp>

⁵ <http://www.autodesk.hu/products/inventor/overview> – diákok és tanárok három éves, ingyenes licenctet szerezhetnek e programhoz.

vel. E szoftverben összeraktuk az alkatrészeket és – a valós lómodell megépítése előtt – szimuláltuk a mechanikus ló mozgását.

A számítógépes lómodell tesztelése

Az *Autodesk Inventor*-beli szimuláció csak hozzávetőleges volt, mert nem szerepelt benne súrlódási erő, gravitáció, az összerakott modellbeli elektromotor, az első lábak elfordítását lehetővé tevő első fogaskerék, valamint az első és hátsó lábknál található rugók. A szimuláció alapot nyújtott a megépítendő modellhez, és a szerkezet lényegi részeit elemeztük vele, például a lehetséges elakadásokat [9].

Már a számítógépes összerakás után látható volt, hogy a megépítendő modell képes lesz a lábak mozgására. Az is kiderült, hogy a hátsó lábak túl magasra emelkednek és így beakadhatnak a majdani elkészítendő szerkezet felső részébe. E probléma kiküszöbölését a megépített modellben a beépített rugók biztosították.

Elsőként abból az állásból indítottuk a lómodellt, amiben Rygg szabadalmában is látható (3. ábra), majd öt másik állásból indítva is kipróbáltuk. Azért a hat állás összesen, mert a négy láb hatféle lépéssorrenddel bír [11].

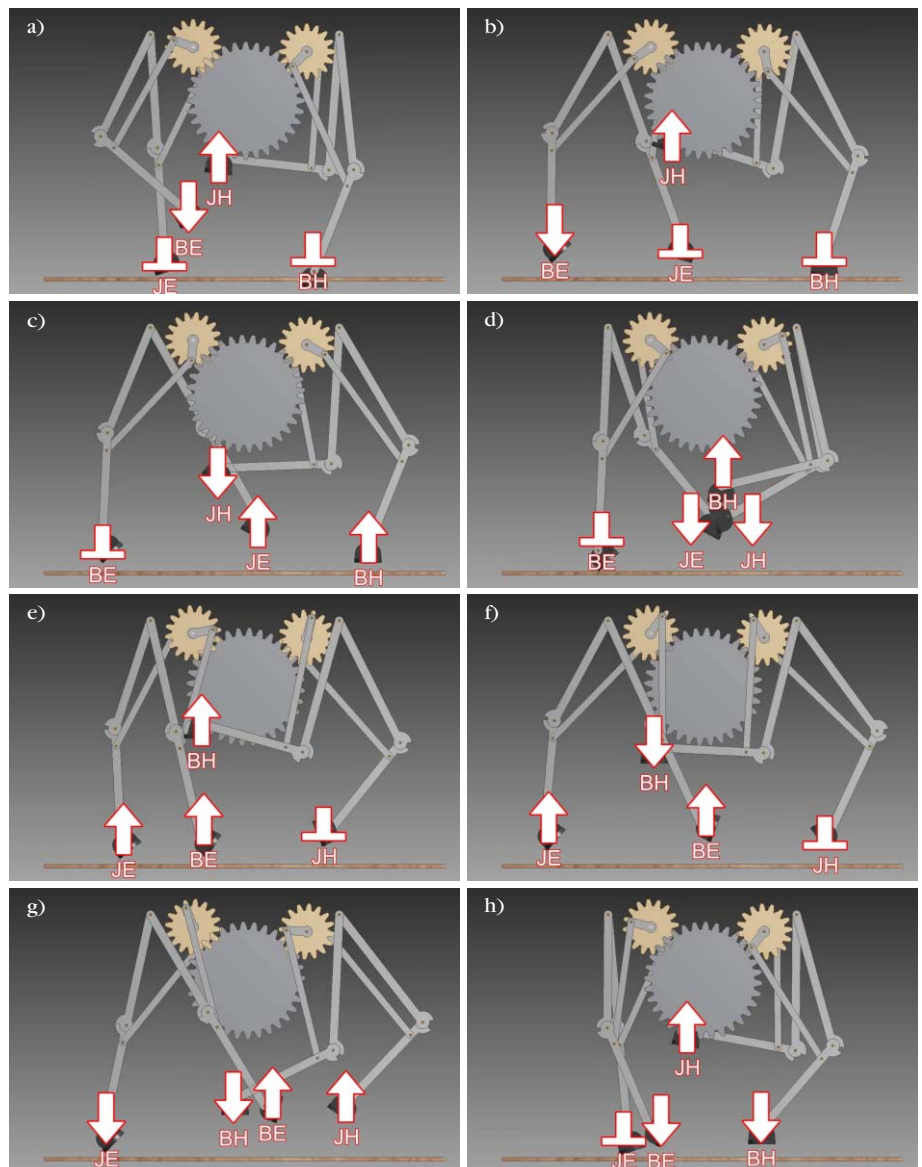
A lómodellben a lábak egymáshoz képesti állását a két kisebb fogaskerék állása határozza meg, ezért azok szögének állításával lehet a lábállásokon változtatni. A mellső és hátsó lábakat külön nézve azok úgy viselkednek, mint egy-egy kétlábú szerkezet. A lényeg a két-két láb közti fázisban van, ezért elég volt az egyik (jelen esetben az első) fogaskerék kiindulási szögének állítása, míg a hátsó ugyanott maradt. A hat állást egyenletesen, 60 fokként osztottuk fel. Az egyes állásokat egy teljes, 360 fokos fordulaton át rögzítettük oldalról, majd – a könnyebb megjelenítés, elemzés érdekében – 8-8 képet készítettünk az összes videóból. Az egyes lábak állását és mozgását minden képkockában elemeztük, majd az egész mozgássorozatot egy sűrített, piktografikus

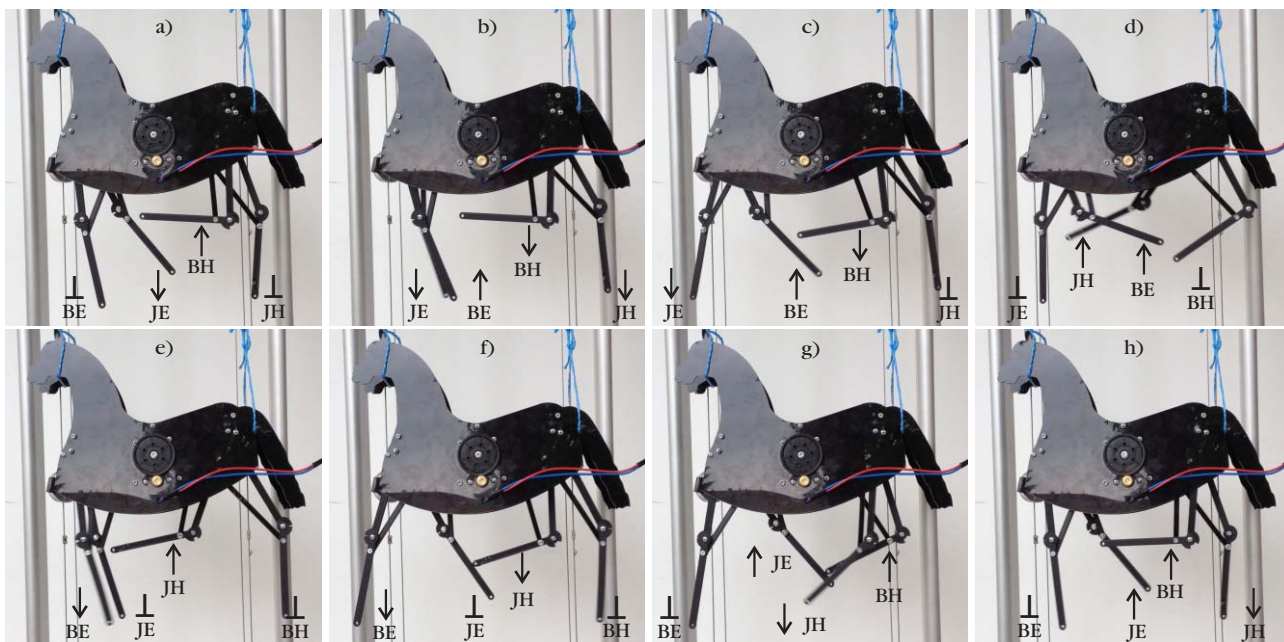
formában ábrázoltuk. Az 5. ábra például a Rygg-féle mechanikus ló lábainak szimulált mozgását mutatja a járásciklus 8 fázisában az 1. fogaskerékállásnál.

Rygg mechanikus lovának megépített, kicsinyített modellje

Az alkatrészeket 3D nyomtatóval állítottuk elő a számítógépen megtervezett elemekből [9]. Ezután következett a modell megépítése, amelynek alapját a nyomtatott alkatrészek adták. A nagyobb pontosságot igénylő fogaskerekeket és a lábakat meghajtó elektromotort egy modell- és hobbiszaküzletben szereztük be. A motortengely szögsebessége potenciométerrel volt szabályozható. A lómodellt összetartó keret műanyaglapokból készült lézeres kivágással. A megépí-

5. ábra. A jobbról balra mozgó Rygg-féle mechanikus ló lábainak szimulált mozgása a járásciklus 8 fázisában az 1. fogaskerékállásnál. A fehér nyilak azt mutatják, hogy a ló a lábát éppen föl- vagy lefelé mozgatja, a \perp jel pedig azt jelenti, hogy a láb a földön van [9].





6. ábra. A Rygg-féle mechanikus ló megépített modellje lábainak mozgása a járásciklus 8 fázisában az 1. fogaskerékállásnál, amikor a ló balról jobbra mozog [9].

tett lómodellünk az eredeti szerkezet 15%-ra kicsinyített változata volt. Mivel csak demonstrációs célra szolgált, ezért például nem volt szükség az első lábpár elfordíthatóságára, amelynek eredeti célja az volt, hogy a lómodellel kanyarodni és fordulni is lehessen.

A megépített lómodell első fogaskerékénél állítható a két első láb szöge, ezzel szimulálható a hatféle eltérő lépéssorrend. A 6. ábra a megépített lómodell lábainak szimulált mozgását mutatja a járásciklus 8 fázisában az 1. fogaskerékállásnál.

A szimulált, a megépített lómodell és a lovak járásának összehasonlítása

A lovak lassú mozgástípusa (jármódja) a lépés, amikor egy vagy két láb mindig a levegőben van, miközben a többi három vagy kettő a talajon. A négy láb 24-féle módon és 6 sorrendben rakosgatható egymás után. Egy adott sorrend – attól függően, hogy az állat melyik végtagjával kezdi a járást – négy, a kezdeti lépésekben eltérő módozatra bomlik [11]. Azt gondolhatnánk, hogy mind a hat lépéssorrend előfordul a négylábúak között, ez azonban nincs így. A négylábúakra, így a lovakra is járáskor (lépés jármódban) a BH–BE–JH–JE lépéssorrend jellemző [11]. Az ennek

7. ábra. A lovak lassú járásakor (lépés jármódjában) a lábak talajkontaktusának táblázata (alátámasztási mátrixa) a járásciklus 1–8. fázisában a BH–BE–JH–JE lépéssorrend esetén, ahol a fekete, illetve fehér körök azt jelölik, hogy a láb a talajon, illetve a levegőben van [11].

	1	2	3	4	5	6	7	8
BH	●	●	●	●	○	○	○	○
BE	○	○	●	●	●	●	○	○
JE	●	●	○	○	○	○	●	●
JH	●	○	○	○	●	●	●	●

megfelelő talajfogási mintázatot, más néven alátámasztási mátrixot a 7. ábra mutatja. A 8. ábrán a Rygg-féle lómodell szimulált járásának alátámasztási mátrixa látható a 6 különböző fogaskerékállás esetén, míg a 9. ábra ugyanezt szemlélteti a megépített lómodellre.

A 7–9. ábrák összevetésével látható, hogy a Rygg-féle lómodellnek sem a számítógéppel szimulált, sem pedig a megépített változata nem jár helyesen, vagyis nem a lovak lépésére jellemző BH–BE–JH–JE lépéssorrendet követi. A számítógépes modellnél gyakori, hogy a ló egyik lába sincs a földön, ami a valódi lovaknál csak vágtakor fordul elő. Rygg lómodellje viszont emberi erő hajtotta lassú járásra (lépés jármódra) volt tervezve, nem vágatúra. Látható

8. ábra. A Rygg-féle lómodell szimulált járásának alátámasztási mátrixa a 6 különböző (a: 1., b: 2., c: 3., d: 4., e: 5., f: 6.) fogaskerékállás esetén [9].

a)	1	2	3	4	5	6	7	8	b)	1	2	3	4	5	6	7	8
BH	●	●	○	○	○	○	○	○	BH	●	○	○	○	○	○	○	○
BE	○	○	●	●	○	○	○	○	BE	○	○	○	●	●	○	○	○
JE	●	●	○	○	○	○	○	○	JE	●	○	○	○	○	○	○	○
JH	○	○	○	○	●	●	○	○	JH	○	○	○	○	○	○	○	○
c)	1	2	3	4	5	6	7	8	d)	1	2	3	4	5	6	7	8
BH	●	●	○	○	○	○	○	○	BH	●	●	○	○	○	○	○	○
BE	○	○	○	○	○	○	○	○	BE	○	○	○	○	○	○	○	○
JE	○	○	○	○	○	○	○	○	JE	○	○	○	○	○	○	○	○
JH	○	○	○	○	○	○	○	○	JH	○	○	○	○	○	○	○	○
e)	1	2	3	4	5	6	7	8	f)	1	2	3	4	5	6	7	8
BH	●	●	○	○	○	○	○	○	BH	●	●	○	○	○	○	○	○
BE	○	○	○	○	○	○	○	○	BE	○	○	○	○	○	○	○	○
JE	○	○	○	○	○	○	○	○	JE	○	○	○	○	○	○	○	○
JH	○	○	○	○	○	○	○	○	JH	○	○	○	○	○	○	○	○

még, hogy a Rygg-féle lómodellnek legfeljebb két lába van a földön, gyakran csak egy, míg a ló valódi lassú járásakor az esetek felében három láb éri a földet. A 6. fogaskerékállásnál a BE láb csak megközelíti a talajt. Ez legjobban a megépített lómodell 5. és 6. fogaskerékállásában volt megfigyelhető, amikor külön-külön az első, illetve a hátsó lábaknál is a jobb lábat a bal követte, azután mindkét láb a levegőben volt, majd újra következett a jobb, míg a valószínűségben legalább egy láb, sőt az idő felében mindkét láb a földön van.

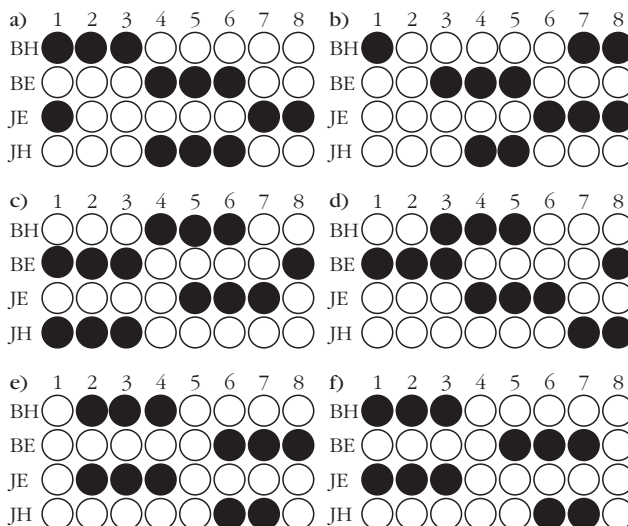
Ugyanez figyelhető meg a megépített lómodell járásában is, azzal a különbséggel, hogy annál ritka, hogy egyik láb se legyen a földön. Ennél gyakrabban fordul elő az az állapot, amelyben a lómodell átellenes (BE és JH vagy JE és BH) lábai vannak a földön. A megépített és a szimulált lómodellben is látszik még, hogy a ló a lábait túl magasra emeli, egészen addig, hogy az akár beakadhat a vázba. A lábak túl sok időt töltenek fönn, és ez okozza a gyakori instabil állapotokat, amelyekben egy vagy két láb van a földön, vagy akár egyik sem.

Végül fontos kiemelni, hogy a stabil álláshoz legalább három lábnak kell a földön lennie, ami egyszer sem fordul elő a számítógépes és a megépített lómodell esetében.

Következtetések

A Lewis A. Rygg 1893. február 14-i, 491927. számú amerikai szabadalmában leírt mechanikus ló számítógépes modelljének elkészítése és 15%-ra kicsinyített modelljének megépítése és tesztelése után kiderült, hogy a lómodell a Rygg által leírt és ábrázolt formájában nem lett volna képes járásra (helyes lépés jármódra) [9]. (i) Az első és hátsó lábak mozgásának időzítése külön-külön rossz. (ii) A lábak kevés időt töltenek a földön. (iii) A szerkezet mozgása során túl magasra emeli a lábakat, ami beakadásokat okozhat. (iv) Előfordul, hogy a modell egyik lába sincs a földön, vagy csak egy, gyakrabban kettő, ami mind instabil, átmeneti állapot egy ló mozgása során.

E modellre alapozva elkészíthető egy jobban működő. Az alkatrészek méretének változtatásával elérhető lenne, hogy a lábak ne emelkedjenek természetellenesen magasra, és több időt töltsenek a földön. Így már csak az első és hátsó lábak mozgásának egymáshoz viszonyított fázisán kellene állítani, hogy elő-



9. ábra. A Rygg-féle megépített lómodell járásának alátámasztási mátrixa a 6 különböző fogaskerékálláskor [9].

álljon a lovak és minden más négy lábú állat járására (lépés jármódjára) jellemző BH–BE–JH–JE lépéssorrend, ami a legnagyobb állásszilárdságot biztosítja.

Irodalom

- Greguss Ferenc: *Eleven találmányok*. Móra Kiadó, Budapest, 1976.
- William F. Goodwin: *Automatic Toy*. No. 61416, 1867. január 22., <https://www.google.com/patents/US61416>
- John Doyle: *Motors for Propelling Vehicles, or Mechanical Horses*. No. 200266, 1878. február 12., <https://www.google.com/patents/US200266>
- Andrew J. Davis: *Automatic Toy*. No. 209468, 1878. október 29., <https://www.google.com/patents/US209468>
- William Kennish: *Mechanical Toy Animal*. No. 257952, 1882. május 16., <https://www.google.com/patents/US257952>
- Henry O. Lund: *Mechanical Toy*. No. 261244, 1882. július 18., <https://www.google.com/patents/US261244>
- William Hamilton Hall: *Mechanical Toy Animal Figure*. No. 328912, 1885. október 20., <https://www.google.com/patents/US328912>
- Lewis A. Rygg: *Mechanical Horse*. No. 491927, 1893. február 14., <https://www.google.com/patents/US491927>
- Bogár Attila: *Rygg (1893) mechanikus lovának megépítése és mozgásának elemzése*. B.Sc. Diplomamunka (2016), ELTE TTK, Biológiai Fizika Tanszék, Környezetoptika Laboratórium, Budapest, 70 o. (témavezető: Horváth Gábor)
- Csapó Adelinda: *Négy lábú járásábrázolások biomechanikai elemzése, különös tekintettel a múzeumi preparátumokra és az anatómiai tankönyvek illusztrációira*. Diplomamunka (2007), ELTE TTK Biológiai Fizika Tanszék, Budapest, 70 o. (témavezető: Horváth Gábor)
- Horváth Gábor: *Biomechanika. A mechanika biológiai alkalmazásai*. Egyetemi tankönyv, 3. átdolgozott, bővített kiadás (2009), 368 o., ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, ISBN 978-963-284-052-9



**SZÁMÍTUNK RÁD, LÉGY
A FIZIKA BARÁTJA!**

**Támogasd adód 1%-ával az Eötvös Társulatot!
Új adószámunk: 19815644-2-43**