

ODÜSSZEUSZ ÍJÁNAK TITKA

Az íj feszítési görbéjének hőmérsékletfüggése, avagy hogyan tudta Odüsszeusz felajzani az erős íját?

Nagy-Czirok Lászlóné Kiszi Magdolna, Tihanyi Janka, Király Kata, Gudmon Olivér

Kiskunhalasi Fazekas Mihály Általános Iskola

Kövécsv Levente, Horváth Gábor

ELTE, Biológiai Fizika Tanszék

Odüsszeusz íjának legendája:
ami a versből kiolvasható az íj felajzásáról

Az irodalomórán találkozhatnak a tanulók *Homérosz Odüsszeia* című eposzával. Ezen időmértékes versfolyam 21. énekében olvashatunk a híres-hírhedt íjversenyéről, amelyben Odüsszeusz király felesége, Pénélope kérőinek utolsó erőpróbája az volt, hogy az elűntnek hitt Odüsszeusz íjával 12 fejsze fokán átlóva, a győztes elnyerje az özvegynek hitt királynő kezét. Ehhez először fel kellett ajzani Odüsszeusz íját, vagyis a meghajlított íjtest ágainak végére be kellett akasztani a húrt. Ez azonban a kérők egyikének se sikerült. Egyedül csak az áluhában, inkognitóban megjelenő Odüsszeusz tudta az erős íjat felajzani, majd egy nyílal átlóni a fejszefokokon, végül kilétének fölfedése után, némi segítséggel lenyilazta a Pénélope udvartartásán évek óta élősködő, elszemtelenedett, erőszakos kérőket.

Az eposzból nem derül ki egyértelműen az íj felajzásának mikéntje, viszont az Odüsszeusz legendájáról szóló számos filmváltozat némelyikében az íjat Odüsszeusz úgy ajzza föl, hogy előtte láng fölé tartva

fölmelegíti az íjtestet, aminek hatására az kissé megpuhul és már föl lehet rá akasztani a húrt. Más filmváltozatokban emellett vagy ehelyett Odüsszeusz a húrt dörzsölgeti kezével a felajzás előtt. Az eredeti versszöveg és különféle filmadaptációi egyaránt homályban hagyják az íj felajzásának pontos módszerét.

Cikkünk célja az odüsszeuszi íjfelajzás lehetséges módozatainak kiderítése ürügyén iskolákban is kivitelezhető néhány egyszerű fizikai, íjmechanikai mérés és számítás elvégzése. Az irodalomórán megismert Odüsszeusz íjának kapcsán egy olyan kísérleti projektet mutatunk be, amely a diákoknak kedvet csinálhat a fizikához, és egy jó példát mutat arra, hogy a fizikai ismeretek fontosak lehetnek hétköznapi kérdések, problémák megoldásában.

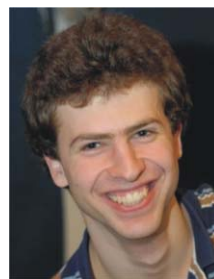
Idézzük – *Devecseri Gábor* gyönyörű – fordításában *Homérosz Odüsszeia* eposzának íjversenyt leíró sorait. A következő napon a mit sem sejtő kérők tovább folytatják a mulatozást. Pénélope versenyt hirdet a kérők között:

„Isteni hős Odüsszeusz íját versenyre bocsátom:
mert aki legkönnyebben tudja felajzani íját,
s mind a tizenkét fejsze fokán átló a nyílával,
majd ahhoz megyek én, elhagyva e hitvesi házat.”

XXI. ének, 74–77. sor



Nagy-Czirok Lászlóné Kiszi Magdolna mesterpedagógus, a Kiskunhalasi Fazekas Mihály Általános Iskola matematika-fizika szakos tanára és igazgatója. A hatásos tanulási-tanítási eljárások alkalmazása mellett azok fejlesztésével és kutatásával is foglalkozik. A tudástérképek tanulás- és gondolkodásfejlesztő módszeréről könyvet és folyóiratcikket írt. Tapasztalatait pedagógus szakvizsgát adó képzésben a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem oktatójaként is továbbadja.



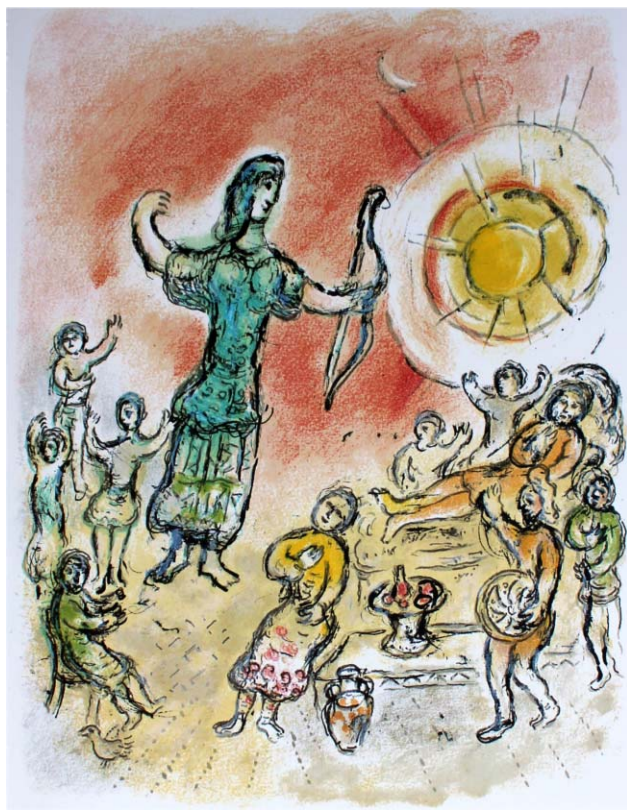
Kövecsv Levente jelenleg az ELTE fizika-földrajz tanárszakos hallgatója. Aktívan űzi az íjászatot. BSc szakdolgozatát az íjászat fizikájáról írta.



Király Kata, 7. valamint Tihanyi Janka és Gudmon Olivér 8. osztályos, tanulók az iskola tehetségprogramjának tagjai. Olivér kreatív ötleteivel járul hozzá a kutató diák programok sikeréhez.



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



Pénélopé és Odüsszeusz íja, Marc Chagall litográfiája.

Antinoosz és Eurümakhosz, a legelvetemültebb kérők vezetésével a kérők próbát tesznek, de már az új felhúrozásánál elakadnak. Elpuhult nemzedék elpuhult gyermekei. Odüsszeusz eközben felfedi kilétét Eumaiosz, a kondás és Philoitiosz, a csordás előtt, és beavatja őket a tervébe. A kérők sikertelen próbálkozása után a koldusgúnyába bújt Odüsszeusz próbál szerencsét. A kérők eleinte nevetnek rajta, de amint Odüsszeusz az íjat fogja, furcsa félelemérzés keríti hatalmába őket:

„Ejnye, be érthet az íjhoz, mily ravaszul *tapogatja*.
Tán bizony otthon ilyen van néki a háza ölében,
vagy készíteni kíván éppilyet, és *a kezében*
erre meg arra ezért *forgatja* a csúnya csavargó.”

XXI. ének, 397–400. sor

Odüsszeusz hibátlanul céloz, majd miután felfedte kilétét, így szól a kérőkhöz:

„Ennek az áldatlan versenynek végeszakadt már;
most más célt keresek, mire ember még sose célzott:
hátha sikerre jutok s diadalt ad nékem Apollón.”

XXII. ének, 5–7. sor

„Hát idebent némán egyetek, vagy sírjatok ottkinn,
eltakarodva a házból, és hagyjátok az íjat,
áldatlan versenyre a kérőknek: mivel én azt
nem hinném, hogy akadna, ki egykönnyen felidegzi.
Mert hisz ezek közt nincs olyan egy sem, mint
amilyen volt

bajnok Odüsszeusz, kit magam is láttam szememmel,
s emlékszem még rá, pedig akkor kisfiu voltam.

„Így szólt, ám közben kebelében a lelke remélte:
ő lesz majd, aki fölhúrozza s a sok vason átlő.
És bizony ő lett az, ki megízlelhette először
nyílvevesszőjét hős Odüsszeusznak, akit lakomázva
sértegetett a teremben s ráusztatotta a többbit.”

(XXI. ének, 89–100. sor)

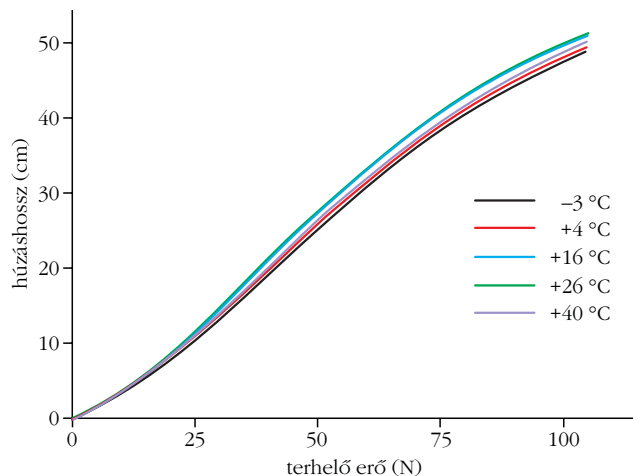
„Hát így szóltak a kérők; ám leleményes Odüsszeusz
nyomban, amint *fölemelte az íjat, megtapogatta*.
S mint aki nagyszerű énekmondó s ért is a lanthoz,
és könnyen kifeszíti a húrt, új szegre csavarva,
és a juh-bélt mindkétoldalt megerősíti szépen,
úgy idegezte föl azt, nem erőlködve, nagy
Odüsszeusz.

Próbát tett azután, jobbkézrel nyúlva a húrhoz:
fölszándult, s mint fecskéé, szép hangja olyan volt.
Bosszankodtak a kérők szörnyen, mindnek a színe
megsápadt. Zeusz jelt mutatott, dörgött a magasból.
Örvendett ezután a sokattúrt isteni férfi,
hogy csodajelt küldött a ravasz Kronosz égbeli
sarja.

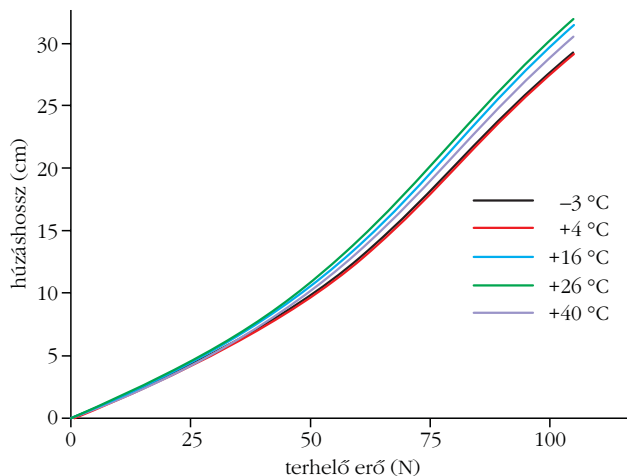
Fogta a gyors nyílvevesszőt, mely mellette kihúzva
asztalon ott feküdt: öblös tegezében a többi
várt, de hamar meg kellett még ízlelniök azt is.
Húrra helyezve, rovátkáit most vonta magához,
s még ugyanonnan, a székéből célozva szilárdul,
lőtte ki azt a nyilat, s egyetlen fejsze fokát sem
tévesztette el ő, hanem átsuhogott valamennyin
részterhes nyila. Ő pedig így szólt Télemakhoszhoz:
Télemakhosz, nem hoz vendéged rád a teremben
szégyent: nem vétettem a célt el, az íj idegével
sem bajlódtam hosszan: eröm sértetlen, egész még.”

(XXI. ének, 404–426. sor)

E sorokból egyáltalán nem következik Odüsszeusz íjának – a filmadaptációkban gyakran szereplő – láng fölé tartással történő melegítése, ami vélhetően az oszmán török íjászoktól eredhet. Nekik olyan erős íjaik voltak, hogy normál hőmérsékleten nem tudták felajzani azokat, ezért minden harc előtt tűz fölé tartották íjaikat, így a hő hatására könnyebben hajlíthatóvá váltak, s már föl lehetett ajzani őket. Az íj versbeli *kézi forgatását és tapogatását* azonban lehet úgy értelmezni, hogy ekkor Odüsszeusz kézzel markolgatta és dörzsölgette az íjat annak fölmelegítése céljából. Ugyanezen célja lehetne a húr simogatásának is, amint az egyes filmverziókban szerepel. Kérdés, van-e értelme az íjtestet és/vagy a húrt dörzsöléssel vagy lánggal melegíteni a felajzás előtt vagy után, ahogyan az a filmek némelyikében látható. S ha van, akkor csak a felajzást teszi könnyebbé, vagy segíti a nyílvevesszőt „átsuhogni” a fejszék fokán, tehát nagyobb erővel lövi-e ki a nyilat, annak nagyobb kezdősebességet biztosítva? E kérdésekre választ keresve, mértük modern íjak feszítési görbéjét a lég hőmérséklet függvényében. Mellesleg pedig meghatároztuk az íj hatásfokát is.



1. ábra. A 27 fontos íj feszítési görbéje -3 , $+4$, $+16$, $+26$ és $+40$ °C léghőmérséklet mellett. A feszítési görbék -3 és $+4$ °C hőmérsékleteken gyakorlatilag egybeesnek.



2. ábra. A 45 fontos íj feszítési görbéje -3 , $+4$, $+16$, $+26$ és $+40$ °C léghőmérséklet mellett. A feszítési görbék -3 és $+4$ °C hőmérsékleteken gyakorlatilag egybeesnek.

Az íj feszítési görbéjének mérése a hőmérséklet függvényében

Három különböző íjat vizsgáltunk: (1) 27 fontos ($F = 100$ N, $x = 65$ cm) honfoglaló magyar íj. (2) 45 fontos ($F = 160$ N, $x = 65$ cm) honfoglaló magyar íj. (3) 18 fontos ($F = 67$ N, $x = 57$ cm) reflex íj (Samick Polaris). Az íjakat egy adott környezeti hőmérséklet mellett vízszintes húrral rögzítettük és a húr közepét súlysorozattal terheltük, közben mérve az úgynevezett feszítési görbét (más néven íjkarakterisztikát), ami az adott F erővel terhelt húr közepének x távolsága az eredeti vízszintes húrtól (x az úgynevezett húzáshossz). Eredményül kaptuk az $F(x, T)$ feszítési görbét T léghőmérséklet esetén. A méréskor ügyeltünk arra, hogy az íjtestnek legyen ideje fölvennie a környező levegő hőmérsékletét, ami a mérés során állandó volt.

A különböző hőmérsékleteket egyrészt az időjárásra bízunk: nyár végén magasabb hőmérsékletű napokon kezdtük a méréseket, s az ős haladtával egyre alacsonyabb hőmérsékleteken tudtunk mérni. Az enél magasabb hőmérsékleteket szaunában mérve biztosítottuk. Egyes alacsonyabb hőmérsékleteket pedig egy jégpálya sátrában és egy hűtőkamrában értük el, nem győzvéni kívárni a kellően hideg időjárást. Mikor az idő hidegebbre fordult, megismételtük a méréseket. Egy adott hőmérsékleten több, ismételt mérést is végeztünk, hogy megállapítsuk, mennyire megbízhatók, milyen pontosan reprodukálhatók mérési eredményeink. A későbbi eredmények megerősítették az előbbieket.

Kézi dörzsöléssel, súrlódási munkával is melegítettük a reflex íj testét. Az erős, kitarító, simogató mozgatlansorok hatását kontakthőmérővel mértük. Mivel a hőmérséklettel a levegő relatív páratartalma fordítottan változik, nem tudtuk elérni, hogy mindig azonos legyen a páratartalom. Ez azonban nem gond, mert ez egy természetes jelenség, ami Odüsszeusz korára is nyilván jellemző volt. Az íj húrját terhelő súlysorozat-

tot az egyik íjnál rögzített tömegű súlyokkal értük el, a másik íjnál pedig egy vödörrel, amibe folytonosan változtatható, ismert súlyú vizet öntöttünk.

Az 1. és 2. ábra a 27 és 45 fontos íj feszítési görbéjét mutatja -3 , $+4$, $+16$, $+26$ és $+40$ °C hőmérsékletek esetén.

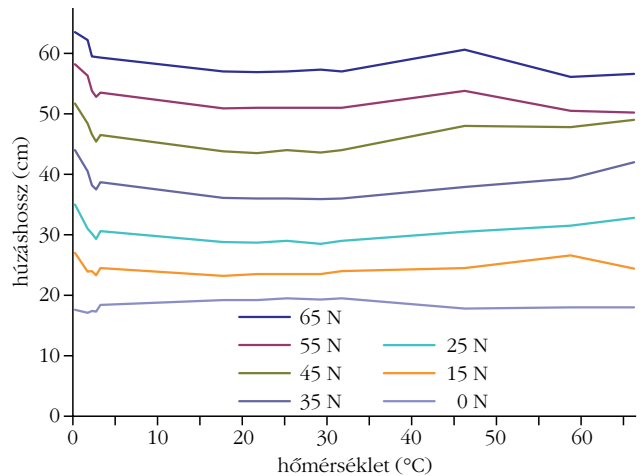
Mindkét íjnál kis feszítőerők mellett nagyjából lineárisan nő a húzáshossz, és a különböző hőmérsékletekhez tartozó feszítési görbék gyakorlatilag egybeesnek. (Itt érdemes felhívni a tanulók figyelmét arra, hogy Hooke törvénye csak bizonyos határok között érvényes.) E görbék hőmérséklet-eltérés miatti szétválása a 27 fontos íjnál közel 20 N feszítőerőnél kezdődik, míg a 45 fontosnál 40 N-nál. E szétválás egyre nő a feszítőerő növekedésével. Azon várakozásunk, hogy nagyobb hőmérsékleten adott feszítőerő mellett nagyobb a húzáshossz, egyik íjnál sem következett be. Az 1. és 2. ábrán a -3 és $+4$ °C-hoz tartozó feszítési görbék nagyjából egybeesnek a mindössze 7 °C-os hőmérséklet-különbségnek köszönhetően. Vegyük figyelembe, hogy ugyanazon feszítőerőnél az íjak húzáshosszának mindig van egy közel 1 cm-es játéka. Ezért legalább 10 °C-os hőmérséklet-különbség esetén várható a feszítési görbék szétválása. Ezt szépen mutatják a -3 és $+4$ °C-hoz tartozó feszítési görbék fölött húzódó $+16$ °C-os és az a fölötti $+26$ °C-os görbék az 1. és 2. ábrán. A váratlan eredményt a $+40$ °C-os szaunás mérés adta, amennyiben a feszítési görbe ekkor nem a $+26$ °C-os görbe fölött halad, hanem a $+16$ °C-os és $+4$ °C-os görbék között (1. és 2. ábra). Ennek mi lehet az oka?

Az egyik lehetséges magyarázat, hogy a szaunában jelentősen magasabb volt a levegő relatív páratartalma, mint a többi mérés helyszínein. Az íj testének és húrjának anyagai megszívhatják magukat nedvességgel, amitől fölkevényedhetnek, s ez vezethet a feszítési görbe szóban forgó hőmérséklet-függési anomáliájához. Ez azonban valószínűtlen, mert az íjtest külső lakkrétege nem engedi át a vizet és a légpárát, így a páratartalomnak gyakorlatilag nincsen hatása az íj belső anyagára.

1. táblázat

A 18 fontos íj különböző terhelőerők melletti húzáshossza (cm) a hőmérséklet függvényében

hőmérséklet (°C)	terhelőerő (N)						
	0	15	25	35	45	55	65
0	17,6	27,0	35,0	44,0	51,7	58,2	63,5
1,5	17,1	23,9	31,0	40,5	48,4	56,3	62,2
2	17,4	24,0	30,2	38,2	46,6	53,8	59,5
2,5	17,3	23,3	29,3	37,5	45,4	52,8	59,4
3	18,4	24,5	30,6	38,7	46,5	53,5	59,3
17	19,2	23,2	28,8	36,1	43,8	50,9	57,0
21	19,2	23,5	28,7	36,0	43,5	51,0	56,9
24	19,5	23,5	29,0	36,0	44,0	51,0	57,0
28	19,3	23,5	28,5	35,9	43,6	51,0	57,3
30	19,5	24,0	29,0	36,0	44,0	51,0	57,0
44	17,8	24,5	30,5	37,9	48,0	53,8	60,6
56	18,0	26,6	31,5	39,3	47,8	50,5	56,1
63	18,0	24,4	32,8	42,0	49,0	50,2	56,6



3. ábra. A 18 fontos íj eltérő terhelőerők melletti húzáshossza a hőmérséklet függvényében az 1. táblázat adatai szerint.

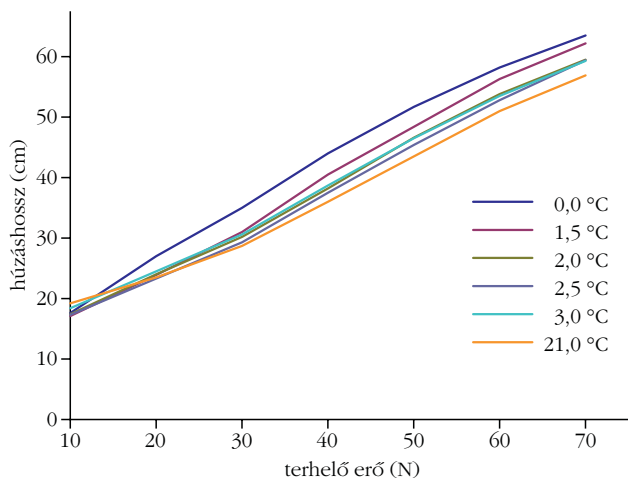
Egy másik magyarázat az íj összetett anyagával függhet össze: a vizsgált íjak műszál-fa-műanyag keverék (kompozit) anyagának dinamikai jellemzői nem monoton változhatnak a hőmérséklettel. Egy kritikus hőmérséklet (ami esetünkben +40 °C közelében van) elérésekor megfordul az íjkarakterisztika hőmérsékletfüggése.

Részletesen vizsgáltuk a 18 fontos íj dinamikai viselkedését 0 és 63 °C között a hőmérséklet függvényében (1. táblázat, 3–5. ábra). A 3. ábra szerint 3 °C alatt a hőmérséklet csökkenésével az íj ereje rohamosan csökkenni kezd, vagyis adott terhelőerőnél nő a húzáshossz. Nagy melegben, 40 °C fölött hasonló jelenség lép fel: megpuhul, legyengül az íjtest, lecsökken az ereje, megnő az adott terhelés melletti húzáshossza. A 3. ábrán az a trend látható, hogy amint me-

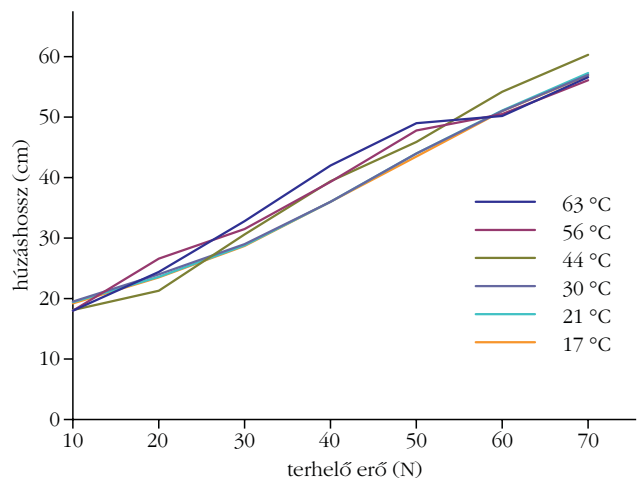
legben nő a terhelőerő (0 N-ről 65 N-ra), úgy csökken (63 °C-ról 44 °C-ra) azon hőmérséklet, amelyen az íj meggyengül. A 4. és 5. ábra az alacsonyabb, illetve magasabb hőmérsékleteken mért íjkarakterisztikákat, vagyis a „hideg”, illetve „meleg” feszítési görbéket mutatja. Az 5. ábrán jól látszik, hogy normál hőmérsékleten (17–30 °C) milyen stabil az íjkarakterisztika, vagyis gyakorlatilag nem függ a hőmérséklettől.

Súrlódással is próbáltuk melegíteni az íjat: két diák egyidejűleg dörzsölte az íjtest két oldalát, majd dörzsölés után egy harmadik diák kontakthőmérővel gyorsan megmérte az íj felületi hőmérsékletét. Kezdetben az íjtest felületi hőmérséklete 13,3 °C volt a bal és 14 °C a jobb oldalon. Dörzsölés után 23,5 és 24 °C volt a bal és jobb oldal. E közel 10 °C-os hőmérséklet-különbség azonban nem okozott lényeges változást a feszítési görbében. Ennek oka, hogy a kézi dörzsölés hatására szinte csak az íj legkülső rétege melegedett, mert az íj anyagai rossz hővezető-képességűek. Ez az eredményünk nem támasztja alá az *Odüsszeiában* leírt íjverseny azon értelmezését, hogy Odüsszeusz tapogatással, dörzsöléssel annyira fölmelegítette az íjat, hogy az megpuhult, és így föl lehetett ajzani.

4. ábra. A 18 fontos íj „hideg” feszítési görbéi 0, 1,5, 2, 2,5, 3 (és összehasonlításként 21) °C-on az 1. táblázat adatai szerint.



5. ábra. A 18 fontos íj „meleg” feszítési görbéi 63, 56, 44, 30, 21 és 17 °C-on. A 17, 21, 30 °C-on mért görbék gyakorlatilag egybeesnek.



Az íj hatásfokának meghatározása

Mikor egy íjat egy nyílvesző kilövésének céljából felhúzzunk, munkát végzünk az íjtest erejének ellenében. E munka az íjtestben tárolódik E_r rugalmas energia formájában, aminek egy része az m tömegű és v kezdősebességű nyílvesző

$$E_m = \frac{mv^2}{2} \quad (1)$$

mozgási energiájára, mint célra fordítódik, másik része pedig az íjtest ágainak mozgási energiájává alakul, majd az íjat és a levegőt melegíti, miután disszipálódik. 7 nyílvesző együttes tömegének mérésével és 7-tel való osztással egy nyílvesző tömegére $m = 28,6$ gramm adódott. Egy kerítés ismert távolságú függőleges rácsai előtt kilőtt nyílvesző kezdeti mozgását egy 80 kép/másodperc sebességű kamerával vettük föl. Néhány egymást követő képpár kiértékelésével megkaptuk, hogy a nyílvesző $t = 1/80$ másodperc alatt $s = 44,5$ cm utat tett meg, ahonnan a vessző kezdősebességére $v = s/t = 35,6$ m/s = 128,2 km/h adódott. Így a kilőtt nyílvesző mozgási energiája $E_m = mv^2/2 = 18,12$ J.

A nyílsebesség meghatározására *Kövécsvé Levente* [1] egy általános iskolában vagy gimnáziumban elvégezhető, több, egyszerű mechanikai kísérletből álló olyan mérést javasolt, amely iskolai projektmunkaként adható ki diákoknak: lőjjük a nyílveszőt egy vízszintes aljzaton nyugvó, homogén, téglatest alakú, puha (például karton vagy szivacs) anyagú dobozba, egyik oldalára merőlegesen. Mérjük a nyílvesző dobozba hatolási mélységét és a doboz aljzaton való elcsúszási távolságát. Egy másik kísérletben ugyanezt a dobozt fonálra akasztva ballisztikus ingaként lógtatjuk függőlegesen, majd ugyanakkora sebességgel (amit az íj ugyanakkora húzáshosszával biztosítunk) belerőljük a nyílveszőt és mérjük az inga maximális kilendülési szögét. Mindkét kísérletre fölírva és megoldva az energiamegmaradás törvényét, végül megkapjuk a nyílvesző kezdősebességét.

Az íj hatásfokának számításakor befektetett energiának az E_r rugalmas energia számít, hasznos energiának pedig az E_m mozgási. Az íj

$$Q = \frac{E_m}{E_r} \quad (2)$$

hatásfoka megadja, hogy az íj rugalmas energiájának hányad része fordítódik a kilőtt nyílvesző mozgási energiájára. A rugalmas energia az $F(x)$ feszítési görbe alatti területtel arányos (1., 2., 4., 5. ábra). Mivel az általános és több középiskolában sem várható el a diákoktól, hogy analitikusan vagy numerikusan tudjanak integrálni, ezért a megnyúlást okozó, növekvő erőgörbe alatti terület meghatározását egyszerű tömegméréssel, majd arányossági számítással oldhatjuk meg: az íj $F(x)$ feszítési görbét egy papírlapra nyomtattuk, amiből kivágtuk az $F_{\max}(x_{\max})$ és x_{\max} oldalhosszúságú téglalapot, amit az $F(x)$ görbe mentén

két részre vágtunk. E két papírdarabot körülrajzolva átvittük egy egyenletes vastagságú és tömegeloszlású vastagabb farostlemezre, amiből szintén kivágtuk a feszítési görbének megfelelő két alakzatot, amelyek tömegét digitális konyhai mérlegen mértük. Ezután a feszítési görbe alatti területet, vagyis az íj rugalmas energiáját a következőképpen kaptuk:

$$E_r = \frac{F_{\max} x_{\max} G_a}{G_a + G_f} = 57,645 \text{ J}, \quad (3)$$

ahol G_a és G_f az $F(x)$ görbe alatti és fölötti területrészt súlya. A vizsgált 40 fontos íj hatásfoka $Q = E_m/E_r = 18,12/57,645 = 31\%$ -nak bizonyult, míg a 27 fontos íjé 32,5% volt.

Odüsszeusz íjlegendájának értelmezése méréseink tükrében

Mi 18, 27 és 45 fontos íjakat vizsgáltunk. A honfoglaló magyarok íjai legföljebb 50 fontosak lehettek a lóról való könnyű nyilazást elősegítendő, a később használt ősi íjak pedig 60-70 font körüliek voltak [2]. Az ilyen erős íjakat csak nehezen lehetett felajzani. Erre utal az Odüsszeusz-féle íjlegenda is. Régészeti leletekben sok olyan emberi csontváz bukkan föl, amelyek gerince elferdült [2]. Ők gyermekkoruk óta íjászok voltak, nehezen felajzható íjakkal, mindig ugyanazon kezükkel feszítve a húrt. Az aszimmetrikus terhelés okozta gerincferdülésüket.

A régi íjak agancsból/szaruból és/vagy fából készültek, és az agancs/szaru részeik hőre lágyultak [2–5]. Manapság gyakran rétegelt lemezek alkotják az íjtestet, aminek az íjász felőli oldalán szaru, míg másik oldalán szarvasín fokozza a rugalmasságot. A régi fajjakat gyantázták, s a gyanta megrege lágyult, miáltal könnyebbé vált a felajzásuk, de a túl magas hőmérséklet már káros volt. Az íj húrját régebben állati ínból vagy emberi hajból sodorták, ami a hőmérséklet növekedésével nyúlik. A modern húrok azonban gyakorlatilag nem nyúlnak -5 és $+40$ °C között. A különböző anyagösszetevőkből készült íjtest dinamikai sajátsága (feszítési görbéje) nem mindig monoton változik a hőmérséklettel az eltérő hőviselkedésű alkotóanyagoknak köszönhetően (3. ábra).

Az íjászok is jól ismerik a filmművészetből származó legendát, hogy Odüsszeusz tűzön melegítette az íját felajzás előtt. Ennek az adhat értelmet, hogy az íjtest renyhébbé, könnyebben felajzhatóvá válik melegítés hatására. A felajzott íj lehűléskor visszakeményedhet, és így nagyobb kezdősebességgel lőheti ki a nyílveszőt, a célpont nagyobb sérülését okozva. Viszont ilyen lánggal történő íjmelegítés csak egyes Odüsszeusz-filmekben szerepel, de mint cikkünk elején láttuk, az eredeti *Odüsszeia* nem tartalmaz ilyet. Egyes filmadaptációkban Odüsszeusz a már felajzott íj testét melegíti lánggal. Ennek nem látjuk sok értelmét, ha az íj hőre lágyulva gyengül, hiszen a felajzott melegített íjjal löve kisebb kezdősebességgel repül ki a nyílvesző,

mint egy hidegebb és ezért erősebb íjból, ugyanakkora húzáshossz mellett. A versben csak az íj kézzel való dörzsölgetése, simogatása és tapogatása szerepel. Így viszont csak mintegy 10 °C-kal lehet fölmelegíteni az íjtest külső rétegét, ami méréseink szerint alig változtatja meg a feszítési görbét, mert az erő zömét szolgáltató mélyebb rétegek hőmérséklete nem változik az íjtest rossz hővezető-képessége miatt. Vagyis egy erős íj kézi melegítéssel alkalmasint nem gyengíthető meg annyira, hogy ez jelentősen könnyíthetné a felajzást. Ezért továbbra sem tiszta, hogy Odüsszeusz íjának tapogatása, simogatása mennyiben és miért segítette, könnyítette a felajzást.

Egyes filmadaptációkban Odüsszeusz a már felajzott íj húrját simogatja. Ez lehet (i) lövés előtti sztereo-típ kézmozdulat, vagy (ii) szolgálhatja a húr tisztogatását (például portalanítását), illetve (iii) bőrszírral való bekenését a feszítő ujjak és a húr közti súrlódás növelése érdekében. A húr dörzsölgetése kissé és rövid ideig fölmelegítheti a húr, némileg megnyújtva azt. Ennek sem látjuk értelmét, mert amíg a melegebb húr hosszabb, mint eredetileg a hidegebb, addig adott húzáshossz mellett kisebb az íj röpítő ereje, ami nem lehet cél, mert csökken a kilőtt nyílvesző kezdősebessége.

A fenti értelmezéseink csak akkor helytállóak, ha az íj dinamikája monoton változik a hőmérséklettel. Azonban azt tapasztaltuk, hogy 40 és 3 °C körül kissé legyengülnek a vizsgált íjaink, csökken a feszítőerejük (3. ábra, 1. táblázat), vagyis dinamikájuk nem monoton változik a hőmérséklettel. Ennek egyik következménye, hogy 40 és 3 °C körül könnyebb felajzani az íjat, mint más hőmérsékleteken. A filmek szerinti lánggal való melegítéssel elérhető az íjtest 40 °C hőmérséklete, de a vers nem erről szól. A 3 °C-ra lánggal történő melegítés pedig csak fagyott íjtest esetén jöhetne szóba, de a vers szerint az ithakai íjverseny nem fagyponthoz közelében zajlott le, ami egyébként sem jellemző görög földre. Ha az íjversenykor mégis fagyponthoz közel hideg uralkodott Ithakában, akkor a hideg íjat kézzel dörzsölve, simogatva, tapogatva fölmelegíthető 3 °C-ra, amikor Odüsszeusz könnyeben ajzhatta fel az íjat. Ez az egyetlen fizikailag elfogadható, íjmechanikai méréseinkkel alátámasztható értelmezése a versben írtaknak.

Mi volt a fontos Odüsszeusz íjzásakor? A célzás pontossága bizonyosan, hogy el tudja találni a nyílveszővel a fejszesor fokait. A pontosságot nem befolyásolja a felajzás módja. Ugyancsak fontos a nyílvesző nagy kezdősebessége, vagyis a felajzott íj nagy ereje, hogy a sebesen haladó vessző jól tartsa az irányát, mialatt áthalad a fejszék fokán. A felajzott íj erejét általában csökkenteni a bármilyen módon történő melegítés, főleg 3 és 40 °C körül. De a legfontosabb, hogy az íjat egyáltalán fel lehessen ajzani. Ezt bizonyosan megkönnyíti az íjtest 3 vagy 40 °C körüli hőmérsékletre történő fölmelegítése kézi dörzsöléssel vagy lánggal. Az előbbinek csak fagyponthoz közel van értelme, az utóbbi pedig kézzel nem, csak tűzzel kivitelezhető.

Marad tehát némi bizonytalanság az Odüsszeusz-féle íjversenyről szóló versrészlet fizikai értelmezésében. Méréseinkkel azonban néhány filmadaptációbeli hibára felhívtuk a figyelmet, és behatároltuk azon hőmérséklet-tartományt, ahol fizikailag jól értelmezhető a versrészlet. Méréseink kivitelezését az *Odüsszeia* inspirálta, s mindez fölkeltheti a diákok érdeklődését a fizika iránt. Persze tudatában vagyunk annak, hogy modern íjakat vizsgáltunk és nem az ókori görögök által használtakat. De Odüsszeusz íjának anyagáról végképp semmi információt nem tartalmaz az íjversenyt leíró versrészlet. Iskolai fizikai mérési projektünk mellékes haszna a kutató diákok kreatív ötleteiben, kitartó méréseikben, mérési jegyzőkönyveikben, ok-okozati összefüggések keresésében, az elméleti ismeretek gyakorlati alkalmazásában és a fizikai törvények érvényességi korlátaival történő szembesülés megélésében nyilvánul meg.

Irodalom

1. Kövecés Levente: *A fizika alkalmazása az íjzásban néhány íjmechanikai probléma megoldásában*. B.Sc. Diplomamunka, ELTE TTK, Biológiai Fizika Tanszék, Környezetoptika Laboratórium, Budapest, 41 o. (2015), témavezető: Horváth Gábor.
2. Szöllősi Antal: *Nyílegyenesen*. Magánkiadás, Gödöllő, (2004).
3. Sebők Attila: *Az íjzást és a test nevelése*. Szakdolgozat, Testnevelési Főiskola, Küzdősportok Tanszék (1993), bíráló: Kun László.
4. Szöllősy Gábor: Mennyivel voltak jobb íjaik a honfoglaló Magyaroknak, mint a korabeli Európa más népeinek? *Keletkutatás* 1995/6sz, 37–51.
5. Mark Denny: Bow and catapult internal dynamics. *European Journal of Physics* 24 (2003) 367–378.

SZÁMÍTUNK RÁD, LÉGY



A FIZIKA BARÁTJA!

Támogasd adód 1%-ával az Eötvös Társulatot!
Adószámunk: 19815644-2-41