

LUKOSTREĽBA A VÝUČBA MECHANIKY NA GYMNÁZIÁCH

František Kundracik

Katedra experimentálnej fyziky FMFI UK v Bratislave

Abstrakt: Jedným z dôležitých prvkov pri motivácii žiakov k štúdiu fyziky je aj zdôrazňovanie využiteľnosti fyzikálnych poznatkov v praxi. V príspevku ukazujeme, ako možno takýmto spôsobom využiť lukostreľbu pri preberaní tém z mechaniky, napríklad: Práca a energia, Jednoduché stroje a Vodorovný a šikmý vrh.

Kľúčové slová: mechanika, lukostreľba, gymnázium

Úvod

Objav luku v dobe kamennej (Grayson 2007) patrí medzi najvýznamnejšie objavy z hľadiska rozvoja civilizácie, lebo zabezpečil ľahšie získavanie potravy, a tým viac voľného času pre intelektuálnu činnosť. Hoci vrchol svojej dôležitosti ako mimoriadne účinnej zbrane dosiahla lukostreľba v stredoveku (napríklad v bitke pri Agincourte (Benett 1994) v roku 1415), vo forme športu pretrváva až do súčasnosti. V ostatných rokoch možno aj na Slovensku vidieť prudký nárast záujmu o lukostreľbu. Príčin je viacero, ale medzi najvýznamnejšie pravdepodobne patria:

- Zmena finálových súbojov na súťažiacich na divácky atraktívnu formu. Na olympijských hrách v Londýne patrili prenosy z finálových súbojov v lukostreľbe k divácky najsledovanejším.
- Vznik filmov, v ktorých sú hrdinami lukostrelci. Stačí spomenúť napríklad: Hry o život, Avatar, Rambo, Pán prsteňov alebo seriál Arrow.
- Lukostreľba môže byť rodinným športom a je spojená s pobytom v prírode (Kundracik 2013)

Cieľom príspevku je využiť tento záujem mladých ľudí o lukostreľbu na zatraktívnenie obsahu fyziky na gymnáziách.

Premeny energie počas výstrelu z luku

Počas výstrelu (natahnutie luku a vypustenie šípu) dochádza k niekoľkým javom spojených s premenou energie. Na natanutie luku treba silu, preto počas naťahovania luku koná lukostrelca **prácu**. Tá sa využíva na pružné deformovanie ramien, kde sa energia uschováva ako **potenciálna energia**. Pri uvoľnení tetivy sa ramená luku narovnávajú a urýchľujú šíp, čím sa potenciálna energia ramien luku premieňa na **kinetickú energiu** šípu.

To, koľko energie dokáže lukostrelca uložiť do ramien luku, závisí najmä na sile lukostrelca. Čím viac je luk natanutý, tým väčšiu silu treba vynaložiť. Situácia je analogická, ako pri naťahovaní pružiny (téma Kmity) a možno zaviesť pojem priemernej sily ($F_{\max}/2$). Preto (analogicky ako po zavedení pojmu priemernej rýchlosti pri rovnomerne zrýchlenom pohybe) možno vypočítať prácu vykonanú lukostrelcom pri naťahovaní luku:

$$W = \frac{F_{\max} L}{2} \quad (1)$$

kde L je dĺžka náťahu luku (súvisí s dĺžkou ruky a je typicky 0,5 m). Stredoveké vojenské luky sa napínali silou F_{\max} ekvivalentnou až 50-60 kg (čiže 500-600N), čo vedie na energiu uschovanú vo vojenskom luku typicky až 150 J. U moderných športových lukov sa používajú typické náťahové sily ekvivalentné 20 kg (200 N), čo zodpovedá uloženej energii 50 J. Typická hmotnosť športového šípu je $m = 25$ g, čiže rýchlosť šípu

$$v = \sqrt{\frac{2W}{m}} \quad (2)$$

prevyšuje obvykle 60 m/s.

Táto energia je dosť veľká na to, aby mala smrtiace účinky na človeka. Stačí ju porovnať s inými typickými strelnými zbraňami:

Tab. 1. Typické energie niektorých zbraní

Zbraň	Hmotnosť projektilu [g]	Ústová rýchlosť [m/s]	Energia projektilu [J]
Vojenský luk	60	60	110
Športový luk	25	63	50
Vzduchovka	0,5	200	10
Malorážka	2,6	300	120
Pistoľ Flobert	1	200	20
Pistoľ 9mm Luger	8	340	426

Dostrel luku

Pri preberaní **šikmého vrhu** sa žiaci dozvedia, že najväčší dostrel (pri zanedbaní odporu vzduchu) je pri elevačnom uhle $\alpha = 45^\circ$ a je daný vzťahom

$$l = v_0 \cos \alpha = 2 \frac{v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g}, \quad l_{\max} = \frac{v_0^2}{g} \quad (3)$$

kde g je gravitačné zrýchlenie. S využitím typickej rýchlosti šípu 60 m/s dostávame typický dostrel luku 360 m. Tu treba povedať, že šíp má aerodynamický tvar a jeho rýchlosť je nižšia, než konečná ustálená rýchlosť pri voľnom páde. Preto je šíp počas letu iba málo spomaľovaný trením a jeho energia sa počas celého letu veľmi nemení. To je podstatný rozdiel oproti pištoľi, kde je hmotnosť projektilu nižšia a energia sa získava vysokou rýchlosťou projektilu. Projektil z pištole počas letu významne stráca rýchlosť a jeho energia sa postupne znižuje.



Obr. 1. Maximalizovanie dostrelu luku: meraním uhla výstrelu (vľavo), znižovaním

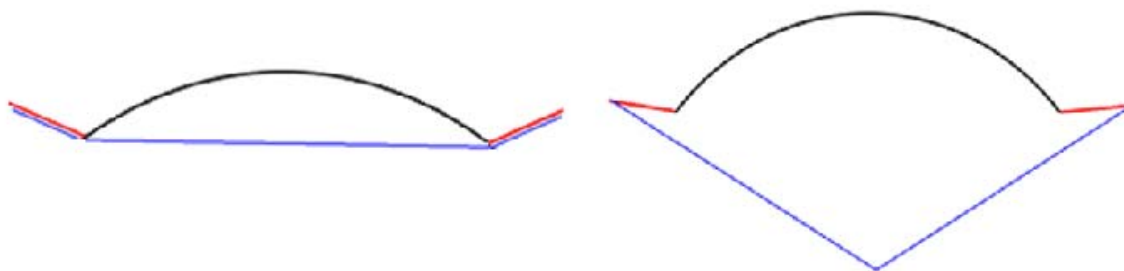
V súvislosti s dostrelom luku sa dá na hodine otvoriť diskusia, ako by sa mohol dať dostrel luku zvýšiť. Vzťahy (1) – (3) sú dosť jednoduché na to, aby žiaci boli schopní identifikovať najdôležitejšie **parametre ovplyvňujúce dostrel**: hmotnosť (a teda aj rozmer) šípu, sila luku a dĺžka náťahu a správny uhol výstrelu. Hľadaním na internete (napríklad Urquhart 2016) môžu žiaci získať aj fotografie niektorých optimalizovaných systémov luk + šíp (obrázok 1). Treba ešte uviesť, že svetový rekord v dostrele luku je niečo cez 1000 m.

Zvýšenie nazhromaždenej energie v luku

Spomenuli sme, že množstvo nazhromaždenej energie závisí najmä na sile lukostrelca. Ďalšie zvýšenie nazhromaždenej energie sa dá dosiahnuť iba tak, že lukostrelca ku koncu náťahu nebude musieť vynakladať až takú veľkú silu (teda ak náťahová sila nebude úmerná veľkosti náťahu). Existujú dve metódy, ako to dosiahnuť, sú založené na jednoduchých mechanických strojoch: **páke a kladke**.

Zvratný luk

Tento typ luku pochádza z Ázie (Čína, Mongolsko) a nosnou myšlienkou je znížiť silu luku ku koncu náťahu pomocou páky (obr. 2).



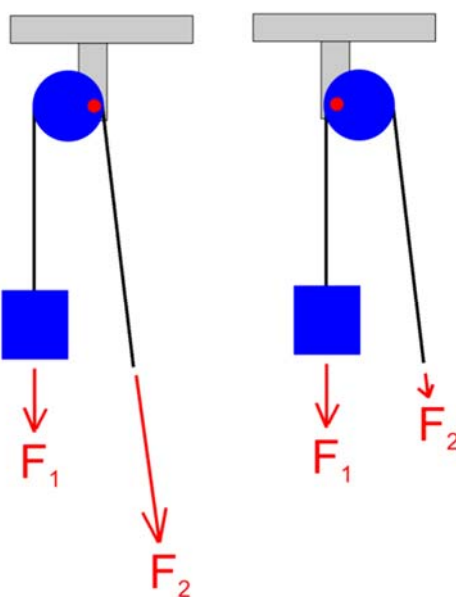
Obr. 2. Princíp zvratného luku

V pôvodnom dizajne sa na koniec luku pridajú pod istým uhlom nepružné nástavce. Pri malom náťahu luku sa tetiva dotýka pôvodného konca luku (obr. 2 vľavo), ku koncu náťahu sa tetiva od pôvodného luku oddiali a ťahá za predĺžené nástavce ako za páku (obr. 2 vpravo). Lukostrelec tak musí vynaložiť menšiu silu, alebo luk sa môže spraviť pevnejší. Moderné zvratné luku majú predĺženie plynulé a ohybné po celej dĺžke, čo umožňuje dizajn luku ešte viac vylepšiť.

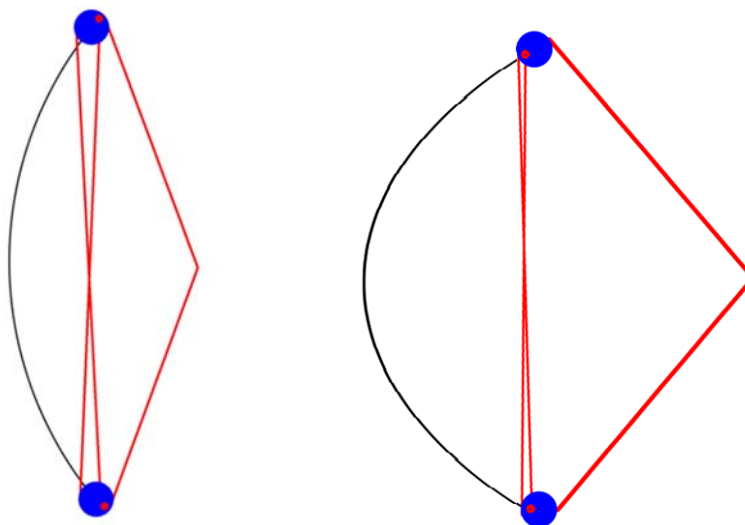
Kladkový luk

Tento luk je pomerne moderný, bol objavený v roku 1966 v USA strelcom Hollessom Wilburom Allenom. Jeho princíp spočíva vo využití excentricky upevnenej kladky (obr. 3). Podľa natočenia kladky je rameno závažia v porovnaní s ramenom ťahajúcej sily alebo menšie, alebo väčšie. V kladkovom luku sú "závažím" ramená luku a ťahá ich cez excentrické kladky lukostrelec pomocou tetivy (obr. 4). Kladky sú natočené tak, že, spočiatku (pri malom náťahu) treba napriek malej deformácii ramien vynaložiť veľkú silu. Pri veľkom náťahu sa kladky preklopia tak, že napriek veľkej deformácii ramien luku treba vynaložiť iba malú silu.

Ďalšie zlepšenie vlastností kladkového luku sa dá dosiahnuť nekruhovým tvarom kladiek. V porovnaní s klasickým lukom sa dá v kladkovom luku uložiť oveľa viac energie. Ak napríklad majú kladky taký tvar, že na konci (pri plnom náťahu) treba vynaložiť iba polovičnú silu (typická hodnota) a maximálna sila luku nech zodpovedá 40 kg (400 N – typická hodnota pre lovecké luku), potom v luku sa dá nazhromaždiť energia až $400\text{ N} \cdot 0,5\text{ m} = 200\text{ J}$, čo je hodnota porovnateľná s projektilom z pištole.



Obr. 3. Excentrická kladka. Vľavo: Na udržanie závažia potrebujeme veľkú silu. Vpravo: Na udržanie závažia potrebujeme malú silu.



Obr. 4. Kladkový luk. Vľavo: Pri malom náťahu potrebujeme veľkú silu.
Vpravo: Pri veľkom náťahu potrebujeme malú silu.

Použitá literatúra

- GRAYSON, Charles E., FRENCH, Mary, O'BRIEN, Michael J. 2007. *Traditional Archery from Six Continents: The Charles E. Grayson Collection*. University of Missouri Press. ISBN 978-0-8262-1751-6
- BENETT, Matthew. 1994. *The Development of Battle Tactics in the Hundred Years War*.
Curry, Anne; Hughes, Michael L.: *Arms, armies, and fortifications in the Hundred Years War*. Woodbridge, England: Boydell Press. pp. 7–20. ISBN 0-85115-365-8
- KUNDRACIK, František. 2013. Športová lukostreľba. In: *Šport Revue*, [online], 2013. [citované 30. apríl 2016].
Dostupné na: <<http://www.sportcenter.sk/stranka/sportova-lukostrelba>>
- URQUHART Heather. 2016. Flight archery. [online], 2016. [citované 30. apríl 2016].
Dostupné na: <<http://www.scottisharchery.org.uk/aboutflight.php>>

PodĎakovanie

Táto práca vznikla vďaka Agentúre na podporu vedy a výskumu, projekt č. APVV-14-0017.

Adresa autora

doc. RNDr. František Kundracik, CSc.
Katedra experimentálnej fyziky FMFI UK
Mlynská dolina F2
84248 Bratislava
frantisek.kundracik@fmph.uniba.sk