

# Merjenje moči mišic nog

Andrej Dobovišek in Nataša Vaupotič

Sloenci smo navdušeni športniki. In skorajda ni športa, pri katerem ne bi pomembno vlogo imele tudi mišice nog. Ob današnji opremljenosti osnovnih in srednjih šol z Vernierjevimi merilniki sile in razdalje je enostavno izmeriti moč mišic nog pri navpičnem skoku. Kako, razložimo v tem članku. Pri tem pa (ponovno) razčistimo še pojme sile, hitrosti in pospeška.

Navpični skok lahko izvedemo iz stoječega položaja ali iz počepa. Če začnemo skok, ko stojimo, moramo najprej počepniti, se takoj odriniti iz počepa in odskočiti. Druga možnost je, da v počepu obmirujemo in se nato odrinemo. Skok iz stoječega položaja od skoka iz počepa ločimo po tem, da v prvem primeru zgolj zanihamo navzdol v počep in se iz počepa začnemo takoj dvigovati. V nadaljevanju bomo obravnavali samo skok iz stoječega položaja. Skok izvedemo tako, da med skokom držimo roke ob telesu.

Skok razdelimo v štiri faze: počep, odriv, skok in doskok. Posamezne faze skoka so prikazane na sliki 1. Pri skoku delujeta na skakalca dve telesi, Zemlja in podlaga, katerih vpliv opišemo z dvema zunanjsima silama. Vpliv Zemlje opišemo s težo ( $\vec{F}_g$ ), vpliv podlage pa s silo podlage ( $\vec{F}_p$ ). Teža deluje v smeri navpično navzdol in je v vseh fazah skoka enako velika. Sila podlage deluje navpično navzgor, njena velikost pa se s časom spreminja.

Skakalec na začetku prve faze stoji in miruje (slika 1a). Sila podlage in teža sta po velikosti enaki, a nasprotno usmerjeni. Nato se začne skakalec spuščati v počep. Sila podlage se zmanjša (slika 1b), saj se skakalčevo telo lahko začne gibati navzdol le, če je teža

skakalca večja od sile podlage. Ko se skakalec približuje najnižji legi pri počepu, se sila podlage povečuje in postaja večja od teže, saj je gibanje sedaj pojemajoče - hitrost v smeri navzdol se zmanjšuje (slika 1c). Ko je skakalec v najnižji legi (konec prve faze), je hitrost nič, a sila podlage je še vedno večja od teže, pospešek telesa je v smeri navzgor.

Druga faza skoka je odriv. Začne se, ko skakalec zapušča najnižjo lego počepa. Ker je sila podlage večja od teže, se težišče skakalca giblje pospešeno navzgor (slika 1d). Sila podlage se zmanjšuje in je enaka nič, ko se skakalec s stopali več ne dotika merilne plošče. V tem trenutku se zaključi odriv in se prične skok. V fazi skoka na skakalca deluje samo teža (slika 1e). Ta najprej zavira gibanje, saj kaže v nasprotni smeri gibanja. V najvišji legi skoka (slika 1f) je hitrost skakalca enaka nič. Ker nanj deluje le teža, se začne gibati pospešeno nazaj proti tlam. Ko se skakalec s stopali dotakne tal, se konča tretja faza skoka.

Pri doskoku se hitrost skakalca v smeri navzdol zmanjšuje. Zaustavlja ga sila podlage, ki je spet večja od teže (slika 1g). Potem se skakalec ponovno vzravna v stoječi položaj (slika 1h). Takrat sta teža skakalca in sila podlage spet enako veliki.

Opišimo skok še z energijskega stališča. Primerjajmo kinetično ( $W_{\text{kin}}$ ) in gravitacijsko potencialno ( $W_{\text{pot}}$ ) energijo skakalca v najnižji legi počepa (slika 1c) in najvišji legi skoka (slika 1f). V najnižji legi počepa skakalec za trenutek miruje in je zato njegova kinetična energija enaka nič ( $W_{\text{kin } 1} = 0$ ). Izberimo, da je v tej legi tudi gravitacijska potencialna energija enaka nič ( $W_{\text{pot } 1} = 0$ ).

Ko se skakalec odrija, mišice njegovih nog opravljajo delo, povečujeta se kinetična in potencialna energija skakalca. Ko skakalec odskoči, se kinetična energija zmanjšuje, saj ga teža zavira, gravitacijska potencialna energija pa še naprej narašča, dokler se skakalec giblje proti najvišji legi skoka. V najvišji legi skoka težišče skakalca za trenutek spet miruje. Takrat je kinetična energija enaka nič, potencialna energija pa je največja. Zapišimo:

$$W_{\text{pot } 2} = mg\Delta h_{\text{težišče}},$$

kjer je  $m$  masa skakalca,  $\Delta h_{\text{težišče}}$  navpična razdalja med lego težišča skakalca v najnižji legi počepa in najvišji legi skoka,  $g$  pa je težni pospešek. Lege težišča ne moremo meriti na preprost način, zato v približku privzamemo, da je sprememba višine težišča kar enaka spremembi višine vrha glave  $H$  (glej sliko 2). Sledi  $W_{\text{pot } 2} \approx mgH$ . Če izmerimo maso  $m$  in višinsko razliko  $H$ , lahko izračunamo spremembo gravitacijske potencialne energije med najnižjo lego težišča pri počepu in najvišjo lego težišča pri skoku, ta pa je enaka delu ( $A$ ), ki ga med odzivom opravijo mišice skakalčevih nog. Ker je v najnižji legi počepa gravitacijska potencialna energija enaka nič, sledi, da je delo mišic enako kar gravitacijski potencialni energiji v najvišji legi skoka:

$$A = W_{\text{pot } 2} = mgH.$$

Če želimo oceniti povprečno moč mišic nog, moramo izmeriti tudi, kako dolgo je trajal odziv. Povprečna moč mišic ( $P$ ) nam namreč pove, koliko dela ( $A$ ) so mišice opravile v času trajanja odziva ( $t$ ):

$$P = \frac{A}{t}.$$

### Merjenje višine skoka in sile podlage

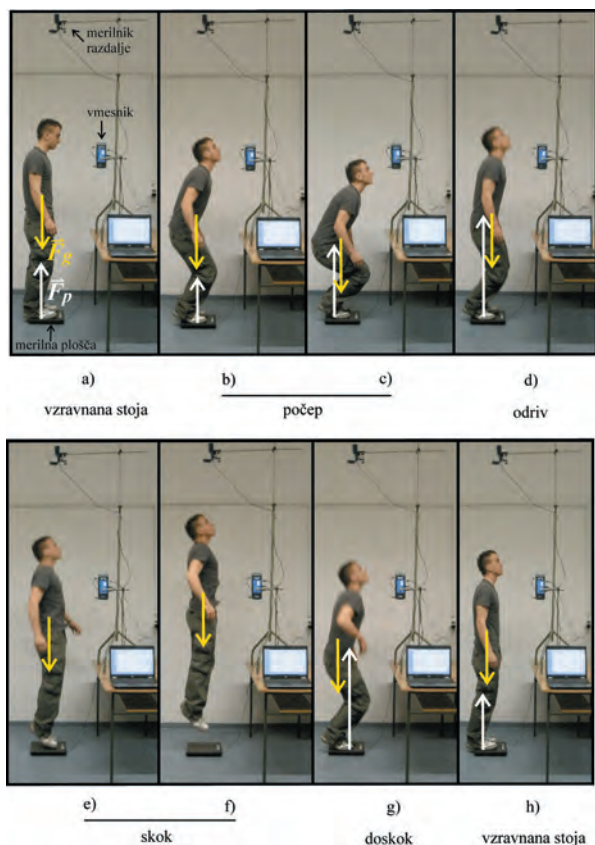
Višino skoka merimo z ultrazvočnim merilnikom, ki je pri meritvi pritrjen približno

2,5 metra nad merilno ploščo, s katero merimo silo podlage. Ultrazvočni merilnik je hkrati oddajnik in sprejemnik ultrazvoka. Merilnik v kratkih presledkih oddaja ultrazvok, ki se nato od vrha skakalčeve glave odbije in potuje nazaj k merilniku. Merilnik izmeri čas od trenutka, ko je ultrazvok oddal, pa do trenutka, ko je ultrazvok ponovno sprejel, in podatke preko vmesnika posreduje računalniku. Računalnik nato iz teh podatkov in s podatkom za hitrost širjenja ultrazvoka po zraku izračuna razdaljo med merilnikom in skakalčevo glavo. Če predhodno določimo še višino merilnika od tal ali če poznamo višino skakalca, lahko narišemo graf višine skakalčeve glave v odvisnosti od časa.

Silo podlage merimo z merilno ploščo. To je elektronska tehtnica, ki je priključena na računalnik. V notranjosti tehtnice je tanka folija, katere električna upornost se spremeni, ko ploščo obremenimo. Če vemo, kolikšna je električna upornost te snovi, ko ploščo ni obremenjena, lahko pri neznani obremenitvi plošče z merjenjem električne upornosti folije določimo silo, s katero je ploščo obremenjena.

Skakalec stopi na ploščo, ki je pod ultrazvočnim merilnikom, mi pa na računalniku sprožimo meritev. Postavitev eksperimenta je razvidna iz slike 1. Skakalec počepne in odskoči, pri tem pa ne sme zamahniti z rokami nad višino glave, saj merilnik potem ne bi več meril razdalje do vrha glave, temveč do rok. Računalnik prikaže diagram višine vrha skakalčeve glave od tal in diagram sile podlage v odvisnosti od časa, kot je prikazano na sliki 2.

Poglejmo, kaj lahko razberemo iz diagramov na sliki 2. Ob času 0 sekund smo sprožili meritev. Najprej je skakalec miroval v pokončni drži. V obeh diagramih vidimo ravni črti. Iz zgornjega diagrama lahko približno določimo višino skakalca, ki je 1,80 metra,

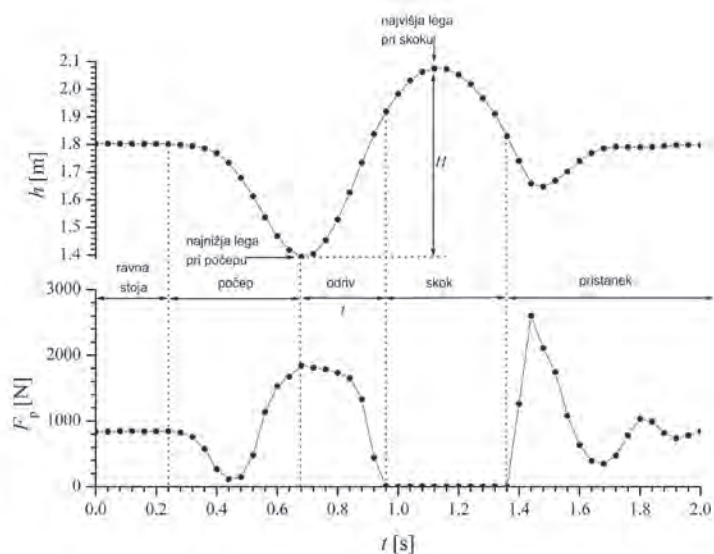


Slika 1: Merjenje višine skoka in sile podlage.

Foto: Andrej Dobovišek.

iz spodnjega pa težo skakalca, ki znaša 850 N. Ob upoštevanju, da je težni pospešek  $9,82 \text{ m/s}^2$ , izračunamo, da je masa skakalca 86,5 kilograma. Nato je skakalec počepnil in odskočil. Med premikom do najnižje lege počepa se je glava skakalca pomaknila navzdol. Višina skakalčeve glave od tal v najnižji legi počepa je 1,40 metra. Sila podlage se je pri počepu najprej zmanjšala, nato pa se je povečala, kar je posledica delovanja sile skakalčevih nog. Največjo silo podlage izmerimo v trenutku, ko je glava skakalca v najnižji točki počepa.

Nato se prične odziv. Višina skakalčeve glave od tal se povečuje, sila podlage pa je med odzivom na začetku skoraj konstantna, nato pa strmo pade. Iz grafa razberemo, da



Slika 2: Meritve pri navpičnem skoku. Zgoraj: višina glave skakalca od tal v odvisnosti od časa. Spodaj: velikost sile podlage v odvisnosti od časa. Slika izdelal: Andrej Dobovišek.

je največja sila podlage pri odzivu ob času 0,68 sekunde po tem, ko smo sprožili meritev, in znaša 1800 N. Odriv se konča v trenutku, ko skakalčeva stopala niso več v stiku z merilno ploščo in je sila podlage enaka nič. Iz diagrama preberemo, da odziv traja  $t = 0,28$  sekunde. Ob času 1,12 sekunde od pričetka merjenja je skakalec v najvišji legi skoka. Iz zgornjega grafa lahko odčitamo, da je glava skakalca v tem trenutku 2,08 metra nad tlemi. Razlika med največjo in najmanjšo višino skakalčeve glave tako znaša  $H = 0,68$  metra. Ob času 1,36 sekunde skakalec pristane na tleh. Takrat sila podlage naraste in je največja ob 1,44 sekunde, ko znaša 2600 N. Iz zgornjega grafa na sliki 2 lahko opazimo, da skakalec ob pristanku nekoliko počepne. S tem podaljša zavorno pot in tako ublaži silo na noge.

Ob razlagi obeh diagramov smo že tudi pridobili podatke, ki jih potrebujemo za izračun povprečne moči skakalčevih nog pri navpičnem skoku. Delo mišic pri odzivu je:

$$A = W_{\text{pot } 2} = mgH = 850 \text{ N} \cdot 0,68 \text{ m} = 0,58 \text{ kJ},$$

kjer smo upoštevali, da je produkt mase in težnega pospeška enak teži skakalca, in privzeli, da je navpični premik težišča skakalca od najnižje lege v počepu do najvišje lege pri skoku enak kar razliki  $H$  med največjo in najmanjšo višino skakalčeve glave. Mišice so med odzivom opravile 0,58 kJ dela. Ker so mišice opravile delo v času  $t = 0,28$  sekunde, izračunamo, da je povprečna moč mišic nog pri navpičnem skoku:

$$P = \frac{A}{t} = \frac{0,58 \text{ kJ}}{0,28 \text{ s}} = 2,1 \text{ kW}.$$

Podatki, ki jih izmerimo pri tem eksperimentu, in rezultati, ki jih z izmerjenimi podatki izračunamo, so podobni podatkom, ki jih najdemo v literaturi. Tudi v literaturi zasledimo, da obravnavajo skok v štirih fazah. Za skakalca z maso 64 kilogramov izmerijo podoben čas odziva

kot pri našem poskusu (0,28 sekunde), za navpični premik težišča skakalca od najnižje do najvišje lege pa izmerijo 0,89 metra. Iz teh podatkov lahko izračunamo, da so mišice skakalčevih nog opravile 0,56 kJ dela in da je njihova moč 2,0 kW, kar se ujema z našim rezultatom. V poskusu, ki je predstavljen v literaturi, znaša največja sila podlage na skakalca pri odzivu 1330 N, kar je nekoliko manj kot v našem primeru (1800 N), vendar je naš skakalec imel večjo maso.

Primerjajmo še podatek za moč pri navpičnem skoku z močjo pri nekaterih drugih športnih aktivnostih. V literaturi so navedeni podatki, da pri kolesarjenju delamo z močjo 110 W, pri teku po stopnicah navzgor z močjo približno 1 kW, pri teku na kratke razdalje pa z močjo okrog 2 kW. Pri kolesarjenju in teku po stopnicah je moč človeka precej manjša kot moč pri navpičnem skoku. Zavedati se namreč moramo, da med odzivom pri navpičnem skoku opravimo delo v nekaj desetinkah sekunde, pri ostalih aktivnostih pa v daljšem času. Tako moramo ločiti med maksimalno močjo in trajno močjo človeka. Maksimalna moč človeka hitro pada s časom. Vrhunski športniki zmorejo maksimalno moč okrog 1500 W, vendar lahko s tolikšno močjo delajo le okrog 6 sekund, za dobo 5 ur pa zmorejo moč okrog 150 W. Zaradi zelo kratkega časa odziva lahko človek pri navpičnem skoku razvije moč tudi do 5 kW.

Eksperiment, ki smo ga opisali v tem prispevku, lahko izvedemo tudi s preprostejšimi in bolj vsakdanjimi merilniki. Maso skakalca izmerimo kar z običajno tehtnico. Ocenimo lahko tudi razdaljo med najnižjo in najvišjo lego težišča skakalca pri skoku in čas trajanja odziva. Pri tem naj bodo zraven skakalca še dve ali tri osebe, ki merijo. Ena oseba naj stoji ob skakalcu, druga naj stopi na stol, postavljen ob skakalcu. Nato oseba ob skakalcu postavi prst roke tako, da kaže

najnižjo lego vrha glave pri počepu, oseba na stolu pa naj s prstom označi višino vrha skakalčeve glave v najvišji legi skoka. Tretja oseba lahko s štoparico na mobilnem telefonu približno izmeri čas trajanja odnosa in z metrom izmeri razdaljo med najnižjo in najvišjo lego skakalčeve glave. S tako ocenjenimi podatki nato približno izračunamo delo mišic nog in njihovo moč.

#### Literatura:

Herman, I. P., 2007: *Physics of the Human Body*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.  
 Reberc, M., Cvahte, M., Brumen, M., 1997: *Energijska bilanca človeka*. Maribor: Univerza v Mariboru, Pedagoška fakulteta, Oddelek za fiziko.  
 Cvahte, M., 1998: *Energijske pretvorbe v človeškem telesu*. Fizika v šoli. Št.1, str. 10-17.

#### Slovarček:

**Kinetična energija.** Energija, ki jo ima telo z maso  $m$  zaradi gibanja s hitrostjo  $v$ . Kinetična energija telesa je določena kot

$$W_{\text{kin}} = \frac{mv^2}{2}.$$

**Gravitacijska potencialna energija.** Za telesa blizu površine Zemlje izračunamo gravitacijsko potencialno energijo kot  $W_{\text{pot}} = mgh$ , kjer je  $m$  masa telesa,  $g$  težni pospešek in  $h$  višina nad nekim referenčnim nivojem, na katerem si izberemo, da je potencialna energija enaka nič.

**Moč.** Količina, s katero merimo, koliko dela opravi sila v določenem času. Moč izračunamo kot

$$P = \frac{A}{t},$$

kjer je  $A$  delo, ki ga sila opravi v času  $t$ .

## Nevtrini hitrejši od svetlobe?

Janez Strnad

### Uvod

Lanske jeseni se je razširil glas o poskusu, pri katerem naj bi nevtrini potovali hitreje od svetlobe. To je izzvalo precej zanimanja tudi med nefiziki. V fiziki je v navadi počakati na preizkus nenavadnega izida. Čakanje se utegne zavleči do naslednjega leta. Zato je smiselno pregledati razmere, ne da bi se dokončno opredelili o trdnosti nenavadnega izida.

### Ustanove

Pri poskusu sta sodelovala CERN in LNGS, Državni laboratorij Gran Sasso. Drugi je manj znan kot ženevski CERN. Italijanski parlament je prvič razpravljal o ustanovitvi podzemnega laboratorija leta 1979. Leta 1982 so odobrili gradnjo in jo pod okriljem Državnega inštituta za jedrsko fiziko INFN leta 1987 končali. Dve leti pozneje je laboratorij začel delovati. Na svetu je kakih deset velikih podzemnih laboratorijev.

Debela plast kamnin zadrži večino naelektrenih delcev iz vesolja. Na razmere v takih laboratorijih manj vpliva okolje in se na primer temperatura manj spreminja. Zato so pripravljeni za občutljiva merjenja.

Laboratorij LNGS leži v Abruzzih v srednji Italiji ob dvocevnem predoru ceste med L'Aquilo in Teramom. Nad njim je 1400 metrov debela plast kamnin najvišjega vrha Apeninskega polotoka, 2912 metrov visokega Gran Sasso. Laboratorij se razteza na površini 18 tisoč kvadratnih metrov. Naprave so nameščene v treh podolgovatih dvoranah. V laboratoriju dela skoraj tisoč raziskovalcev iz številnih držav.

CERN in INFN sta leta 1999 odobrila skupni načrt CNGS, Nevtrini iz CERN-a za Gran Sasso. S poskusi so začeli leta 2006. Eden od obeh delov načrta je poskus OPERA, Oscillation Project with Emulsion-tRacking Apparatus, v dvorani C. Pri njem sodelujejo raziskovalci iz Belgije, Francije,