

# Presenečenja v fiziki:

## Kaj nam fizika pove o športu?

*Mitja Rosina*

*Fakulteta za matematiko in fiziko*

Izbrani zgledi, kako lahko s fizikalnimi principi razložimo empirične izkušnje v športu in predvidimo omejitve.

# Vsebina predavanja:

- **1. MEHANSKA MOČ.** Najlaže jo določimo pri hoji ali pri teku v hrib ali po stopnišču.
- **2. MEHANSKI IZKORISTEK.** Odvisen je od prenosa energije pri razgradnji glukoze in od učinkovitosti impulzov v mišičnih vlaknih.
- **3. OMEJITVE.** Zaradi neprožnih gibov, trenja in upora zraka je omejena hitrost pri hoji, teku, kolesarjenju ter dolžina in višina skoka.
- **4. SKALIRANJE.** Primerjava dosežkov majhnih in velikih živali ter človeka.

# 1. MEHANSKA MOČ

$$P=mgh/t,$$

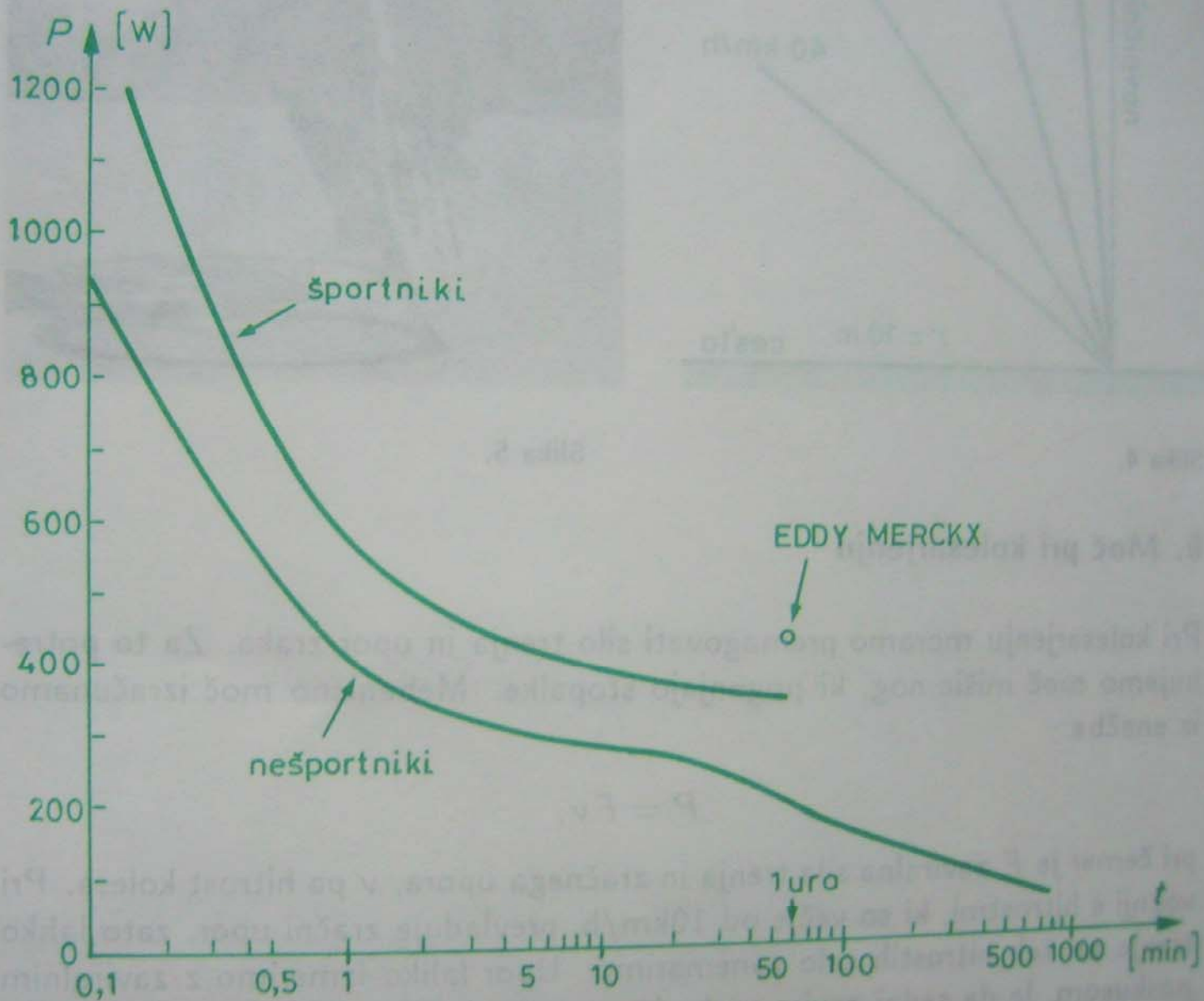
Privzamemo:  $m=75$  kg,  $F=mg=750$  N

Šmarna gora:  $h=360$  m;  $t=1$  h;  $h/t=0,1$  m/s  $\rightarrow P=75$  W

Šmarna gora:  $h=360$  m;  $t=30$  min;  $h/t=0,2$  m/s  $\rightarrow P=150$  W

Stopnišče:  $h=16$  m;  $t=40$  s;  $h/t=0,4$  m/s  $\rightarrow P=300$  W

Miza:  $h=0,75$  m;  $t=0,75$  s;  $h/t=1$  m/s  $\rightarrow P=750$  W



Slika 6.

# 2. MEHANSKI IZKORISTEK

Razgradnja glukoze  $\longrightarrow$  ADP  $\longrightarrow$  ATP

Bankovec  $\longrightarrow$  drobiž ("kovanci")

30 eV  $\longrightarrow$  30 krat 0,5 eV = 15 eV

---

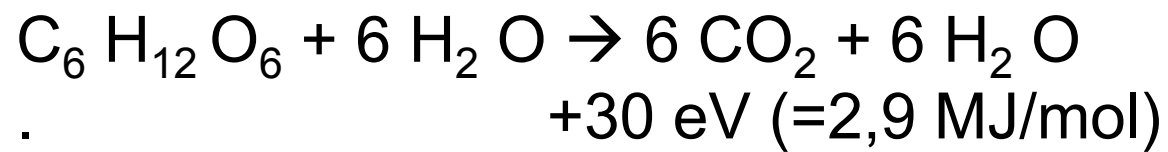
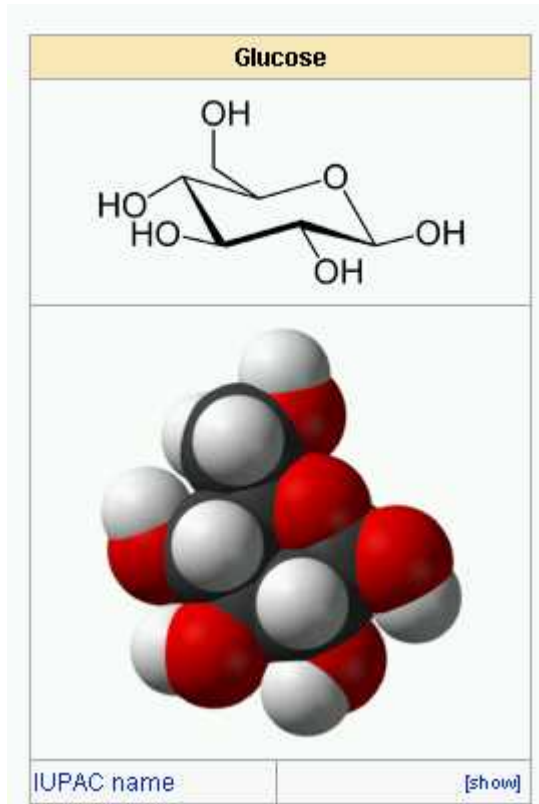
Z drobižem plačujemo posamezne živčne in mišične impulze

Banka (mitohondriji) vzame 50% provizije, vendar smo hvaležni, da jo sploh imamo.

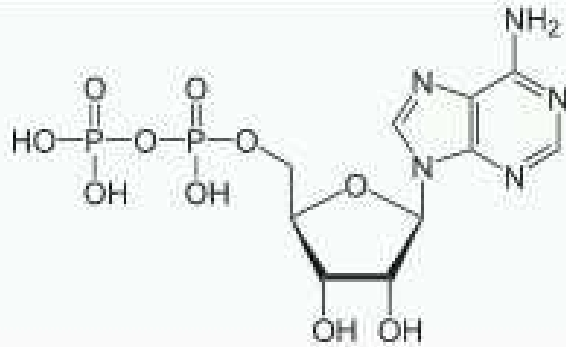
Učinkovitost impulzov v mišičnih vlaknih je tudi kakih 50%.

Torej proizvedemo trikrat toliko toplote kot mehanskega dela.

Neprijetno  $\longrightarrow$  da se potimo; prijetno  $\longrightarrow$  da nas ne zebe.



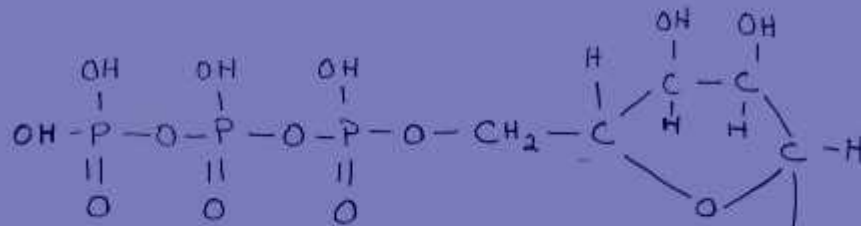
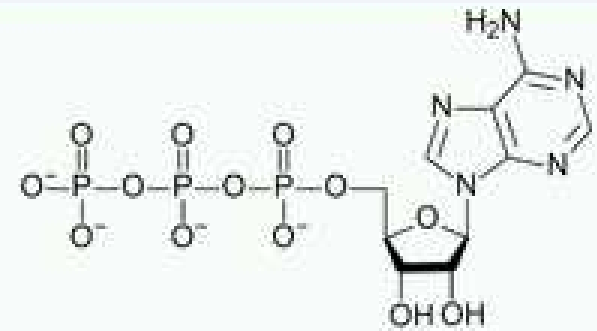
## Adenosine diphosphate



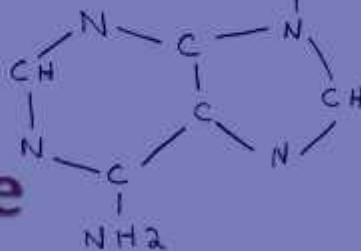
IUPAC name

adenosine 5-(trihydrogen diphosphate)

## Adenosine triphosphate



# ATP Molecule



$P[\text{W}]$	$v_z[\text{m/s}]$	$\dot{Q}[\text{W}]$	$T[^\circ\text{C}]$	$\Delta T[^\circ\text{C}]$	intenzivnost plavanja
0	0	100	33°	3°	namakanje
33	0,05	200	30°	6°	zelo lagodno
66	0,1	300	27°	9°	lagodno
99	0,15	400	24°	12°	naporno
132	0,2	500	21°	15°	zelo naporno
165	0,25	600	18°	18°	le kratek čas



# 3. OMEJITVE

## 3.1 ZRAČNI UPOR PRI KOLESARJENJU.

$$F = c_u S \rho v^2/2, \quad P = F v$$

Predpostavimo  $c_u=0,3$  ali  $1$ ;  $S=1 \text{ m}^2$ ;  $\rho=1,3 \text{ kg/m}^3$

In dobimo

$$V = 5 \text{ m/s (18 km/h)} \longrightarrow P = 25 \text{ (ali 80) W}$$

$$V = 10 \text{ m/s (36 km/h)} \longrightarrow P = 195 \text{ (ali 650) W}$$

## 3.2 HOJA

Pri sproščeni hoji si lahko predstavljamo, da nihata nogi kot nihali s polovičnim nihajnim časom

$$T = \pi (L/g)^{1/2}$$

Naj bo dolžina od vrtišča do težišča noge  $L=0,5$  m ter dolžina koraka  $D=0,75$  m. Potem je polovični nihajni čas

$$T = \pi (0,5/10)^{1/2} \text{ s} = 0,70 \text{ s}$$
 in je hitrost hoje

$$V = D / T = 1,1 \text{ m/s} = 4 \text{ km/h.}$$

Če želimo korakati hitreje, moramo noge dodatno pospeševati in več gibati telo. To pa zahteva dodatne sile in moč.

### 3.3 TEK

Predpostavimo, da je glavna izguba kinetična energija, ki jo vložimo pri vsakem koraku v gibanje noge in jo potem “uničimo”, ko nogo ustavimo:

$$W = m_{\text{noge}} v^2 / 2$$

Nogo premaknemo  $n = v/D$  – krat na sekundo, kjer je  $D$  dolžina koraka. Moč je potem

$$P = m_{\text{noge}} v^3 / 2D$$

Pri vrhunskem teku na sto metrov je  $n = (10 \text{ m/s})/2\text{m} = 5/\text{s}$ . Predpostavimo, da porabimo pri vsakem koraku kinetično energijo, ki ustreza  $m_{\text{noge}} = 1\text{kg}$  spodnjega dela noge:  $W = 1\text{kg} (10\text{m/s})^2 / 2 = 50 \text{ J}$ . Tekoč porabi za ta namen moč  $P = 50\text{J} \times 5/\text{s} = 250 \text{ W}$ .

To pa ni še cela zgodba. Tudi za poskoke trošimo energijo. Pri hitrosti  $v = 10 \text{ m/s}$  in dolžini koraka  $D = 2\text{m}$  (trajanju koraka  $t = 0,2 \text{ s}$ ) je višina poskoka  $h = gt^2/8 = 5 \text{ cm}$ .

80 kg težak atlet zapravi torej pri poskoku potencialno energijo  $W_p = mgh = 40 \text{ J}$  in pri 5 poskokih na sekundo

MOČ = 200 W .

---

Zraven pride pa pri tako veliki hitrosti še zračni upor, podoben kot smo ga ocenili pri kolesarjenju: 340 W

(če vzamemo  $S = 0,7 \text{ m}^2$  in  $c_u = 0,8$  )

Skupno moč šampiona smo torej ocenili na

MOČ ~ (250 + 200 + 340) W = 790 W (~ 1 konjska moč !!!)

### 3.4 SKOK V VIŠINO

DELO MIŠIC = POTENIALNA ENERGIJA

DELO = SILA x RAZTEG NOGE

Predpostavimo, da za kratek čas zmoremo silo dveh lastnih tež  $2mg$  in da stegnemo nogo za  $d = 0,75$  m.

$$2mg d = mgh$$

V tem primeru se dvigne težišče iz čepeče lege za

$$h = 2d = 1,5 \text{ m}$$

# 4. SKALIRANJE

Naj bo  $L$  značilna dolžina živali ali človeka. Razne lastnosti so sorazmerne z različno potenco  $L$ . Volumen in s tem masa sta npr. sorazmerna z  $L^3$ .

4.1 **PREMER NOG.** Ker raste sila teže kot  $L^3$ , mora rasti prerez nog tudi kot  $L^3$ , da nosijo težo. Premer raste torej kot  $L^{3/2}$ . Zato imajo miške tanke noge, sloni pa debele.

4.2 **NOSILNOST.** Prerez mišic in kit in s tem nosilnost raste kot  $L^2$ . Človek lahko nosi predmet z njegovo lastno težo. Mravlja, ki je 1000-krat manjša in  $1000^3$ -krat lažja od človeka, bi potemtakem morala nesti  $1000^2$ -krat manjše breme – torej tisoč svojih tež. Dejanjsko pa jih nese deset, torej je prava reva, kljub naivni hvalnici, koliko zmore nesti.

4.3 TEK. Kot smo videli, je za tek potrebna moč sorazmerna z maso mišic v nogah in s kubom hitrosti. Razpoložljiva moč živali pa je tudi sorazmerna z maso mišic. Torej se pri podobnih živalih masa pokrajša in velja za vse ista omejitvev hitrosti. Zajci tečejo enako hitro kot lisice. Če ne bi, bi zajci izumrli, ali pa bi lisice ostale lačne (optimizacijo pa je naredila evolucija).

Ponovno razmislek:

Pri vsakem koraku zapravimo energijo  $m_{\text{nog}} v^2/2 \sim L^3 v^2$ ,

opravimo pa delo  $F \times \text{korak} \sim (L^2) \times L \sim L^3$ , torej je hitrost neodvisna od  $L$ .

človek	17 km/h	40 km/h
volk	22	65
lisica	24	72
zajec	27	65
hrt	23	60
konj	28	67
slon	23	56
divji osel		65
noj		80
gazela		100
čita		104



## 4.4 SKOK V VIŠINO.


Z mesta skočimo kak meter visoko. Bolha tudi!

Energija, ki jo bitje lahko v kratkem sprosti, je sorazmerna z njegovo maso. Dosežena potencialna energija je tudi sorazmerna z maso. Torej se masa pokrajša!

Človek in večje živali imajo učinkovite mišice. Bolha pa ima drugačen učinkovit mehanizem: visokotlačni mehurček se eksplozivno sproži.

Delo  $A = \text{sil} \times \text{premik} \sim (L^2) \times L \sim L^3$

Potencialna energija  $W = mgh \sim L^3 h$

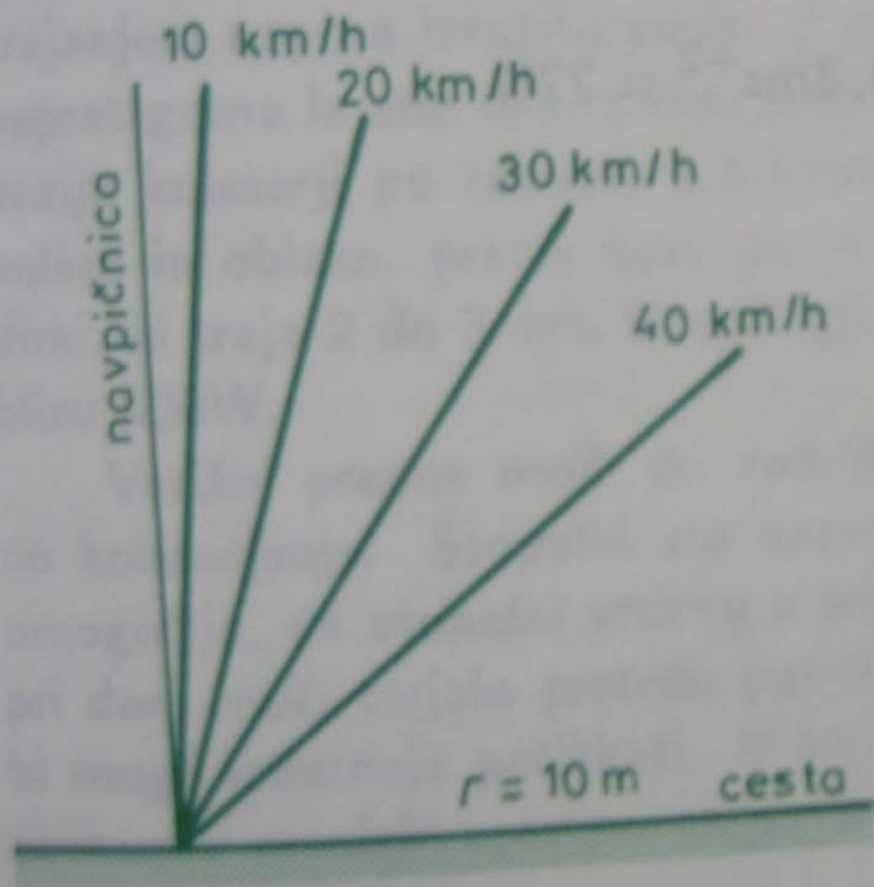
$W = A$ ,  $L^3 \sim L^3 h$    $h = \text{konst} (= \text{kak meter})$

# DODATEK: NAGIB KOLESA

Iz nagiba bicikla lahko sklepamo na hitrost.

(Ko opazujemo sošolca, moramo pred seboj držati diagram, iz katerega odčitamo hitrost kot funkcijo hitrosti. Še lažje to opazujemo na fotografiji kolesarja.) Pri tem moramo seveda oceniti krivinski radij  $r$ , po katerem zavija kolesar.

$$F_r = mg \operatorname{tg} a = mv^2 / r$$



Slika 4.



Slika 5.

# LITERATURA

Mitja Rosina: Razmisli in poskusi,

-- PRESEK 33/1,2,5,6 (2005) str.20,18,9,20

35/1,2,3,4,5,6 (2007) str. 15,12,15,18,18,19

36/1,2,3 (2008) str. 22,15+18,19

Mitja Rosina: Kdaj nas pri plavanju (ne) zebe? -- PRESEK 34/6 (2007) 19

Andrej Likar: Hitrost smučarskega skakalca – PRESEK 13/1 (1992) 16

Andrej Likar : Fizika na kolesu -- PRESEK 21/5 (1994) 276

Andrej Likar : Spust po klancu – PRESEK 25/3 (1997) 138

Andrej Likar : Tek in moč – PRESEK 25/4 (1998) 226

Andrej Likar : Smuk – PRESEK 32/2-3 (2004) 46

Janez Strnad : Proti toku – PRESEK 28/3 (2001) 136

Janez Strnad : Physics of long-distance running

American Journal of Physics 53 (1985) 371

# LITERATURA

- Ed. A. Armenti: THE PHYSICS OF SPORTS – Am.Inst.of Phys.,N.Y.
- David E.H. Jones : The stability of the bicycle –Physics Today (Sept.2006) 51
- J. Lowel, H.D. McKell : The stability of bicycles – Am.J.Phys.50(1982)1106
- I.Alexandrov, P.Lucht : Physics of sprinting – Am.J.Phys 49 (1981)254
- J.B.Keller : A theory of competitive running – Physics today 26/9(1973)42
- Herbert Lin : Newtonian mechanics and the human body: Some estimates of performance --- Am.J.Phys. 46 (1978) 15
- P.Hurley, Claude Garrod : Principles of Physics , Houghton Mifflin Co, Boston 1988, str 179