

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 13 (1985/1986)

Številka 2

Strani 81-85

Peter Gosar:

MEHANIKA HOJE IN TEKA

Ključne besede: fizika, mehanika.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/13/13-2-Gosar.pdf>

© 1985 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2010 DMFA - založništvo

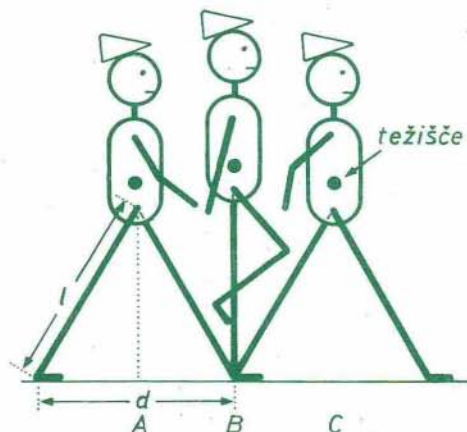
Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.

MEHANIKA HOJE IN TEKA

Za hojo in tek so značilni enakomerno se ponavljajoči koraki z desno in levo nogo. Korak se začne, ko se na primer desna noga dotakne tal, in konča ob naslednjem dotiku leve noge. Povprečna hitrost v hoje ali teka je povezana s trajanjem koraka T in njegovo dolžino d , to je razdaljo med obema točkama dotika tal, takole

$$v = \frac{d}{T}$$

Med hojo se vedno vsaj ena noga dotika tal. Nekaj časa pa sta v stiku s tlemi istočasno obe nogi. Trajanje stika posamezne noge s tlemi izražamo s faktorjem stika β , ki je definiran kot razmerje med trajanjem stika in trajanjem hoje ali teka. Z meritvami so ugotovili, da je tipična vrednost β za hojo 0.6. Pri hoji je posamezna noga več kot polovico časa na tleh. Tek se razlikuje od hoje v tem, da sta tu pri posameznem koraku nekaj časa obe nogi v zraku. Med tekom je posamezna noga manj kot polovico časa v stiku s tlemi in je zato $\beta < 0.5$.



Slika 1

Hoja je možna le pri majhni hitrosti. Odrasel človek preide v tek pri $v \approx 2.5 \text{ ms}^{-1}$ (9 km h^{-1}). S posebno tehniko hoje, ki jo uporabljajo športniki, lahko hodimo tudi hitreje, s hitrostjo do $v \approx 4 \text{ m s}^{-1}$ (14.4 km h^{-1}). Otroci imajo s hojo več težav kot odrasli. Pri hitrostih, ki so za hojo odraslih še zmerne, morajo otroci že teči. Zaradi krajših nog je korak otroka krajši od koraka odraslega človeka. Zato otrok dosega isto hitrost v le ob povečani frekvenci korakov $1/T$.

Kaj omejuje hitrost hoje? Med hojo in tekom se težišče telesa, ki je v trebušni votlini, giblje s povprečno hitrostjo v v vodoravni smeri, poleg tega pa niha v navpični smeri med dvema skrajnima legama. Hitrost v vodoravni smeri se med hojo večinoma ne spreminja dosti. Slika 1 kaže razmere pri prehodu iz hoje v tek, to je pri $\beta = 0.5$. V legah telesa A in C, ki ustrezata začetku oziroma koncu koraka, je težišče telesa najnižje.

V srednji legi B, kjer sta poravnana telo in noga, na katero se opira telo, pa je težišče najvišje. Iz slike sklepamo, da je višinska razlika h ekstremnih leg težišč a približno enaka razliki med dolžino noge l in višino enakokrakega trikotnika s kraki l in osnovnico d . Tako je

$$h = l(1 - \sqrt{1 - \frac{a^2}{4}}) \quad ; \quad a = \frac{d}{l}$$

V času med legama B in C se težišče telesa niža. Sila, ki to omogoča, je teža. Noga lahko spuščanje telesa le ovira, ne more pa ga vleči k tlom. Najhitrejši prehod iz B v C bi dosegli s prostim padom telesa. Tedaj bi prehod težišč a iz lege B v lego C ustrezal vodoravnemu metu s hitrostjo v . Prosti pad z višine h traja $\sqrt{2h/g}$, kjer je g pospešek prostega pada. Iz vodoravne razdalje $d/2$ med legama B in C ter najmanjšega časa, ki je potreben za ta prehod, dobimo teorijsko oceno za maksimalno možno hitrost hoje

$$v_{\max} = \frac{d}{2\sqrt{2h/g}} = \sqrt{gl} \frac{a}{\sqrt{8(1 - \sqrt{1 - \frac{a^2}{4}})}}$$

V celotnem intervalu a , ki pride v poštev, to je $0 < a < 1$, je $v_{\max} \approx \sqrt{gl}$. V tem intervalu se v_{\max} spreminja le za 3.4%. Dolžina nog pri odraslem človeku je približno 90 cm. Tedaj je $v_{\max} = 3 \text{ m s}^{-1}$ (10.8 km h^{-1}). Vidimo, da da gornje preprosto sklepanje zelo dobro oceno za največjo hitrost, pri kateri je hoja še možna. Sedaj tudi natančneje razumemo, zakaj je pri otrocih tek tako pogost način gibanja, saj jih kratke noge in s tem manjša mejna hitrost v_{\max} silijo k temu.

Zakaj pa pri športni hoji dosegamo hitrosti, ki so večje od v_{\max} ? Športna hoja je nekaj prav posebnega. Pri taki hoji je v legi B telo močno zvito, tako da zveznica kolčnih sklepov ni vodoravna, ampak se spušča v smeri proč od noge, ki podpira telo. Posledica take drže je znižanje težišč a telesa v primerjavi z lego pri normalni hoji. Pri športni hoji je navpično nihanje težišč a manjše, kar omogoča večjo mejno hitrost. Ta način hoje je zaradi zvijanja telesa čuden in nenaraven.

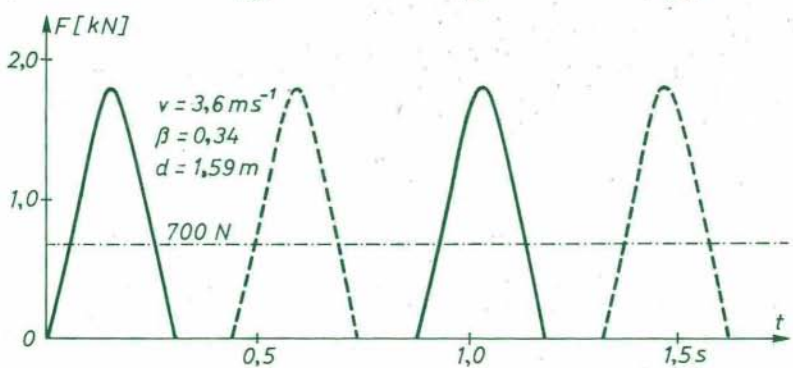
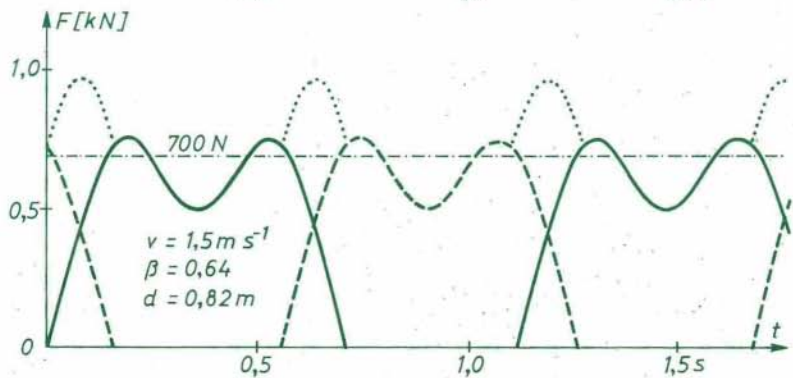
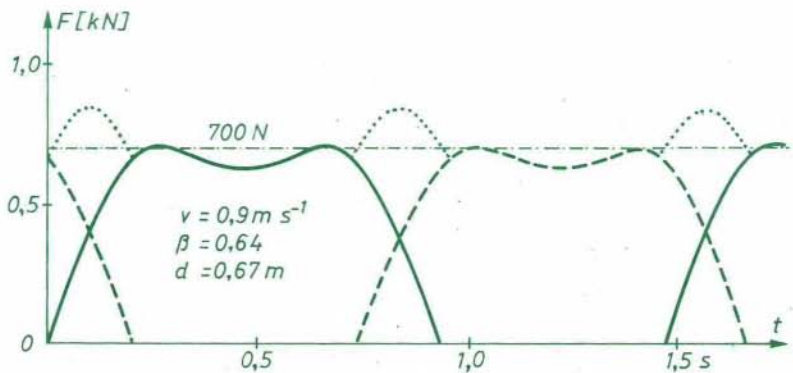
V nadaljnjem nas bosta zanimala velikost in časovni potek sile tal na desno

oziroma levo nogo med hojo in tekom. Ta je nasprotno usmerjena sili, s katero pritiska noga na tla, po velikosti pa je njej enaka. Slika 2 kaže tipičen potek navpičnih komponent sil na desno in levo nogo pri 700 N težkem človeku in pri različnih hitrostih hoje in teka (hoja: $v = 0.9 \text{ m s}^{-1}$ in 1.5 m s^{-1} , tek: $v = 1.5 \text{ m s}^{-1}$). Polna črta kaže časovni potek sile na desno, prekinjena pa na levo nogo. Za časovne intervale, ko sta pri hoji istočasno na tleh obe nogi, pa je s pikčasto črto narisana tudi vsota obeh navpičnih sil. Med hojo in tekom vsota navpičnih komponent sil na desno in levo nogo niha s periodo korakov T okoli srednje vrednosti 700 N. Srednja vrednost mora biti enaka teži človeka, ker se med hojo ali tekom povprečna razdalja težišča telesa od tal ne spreminja.

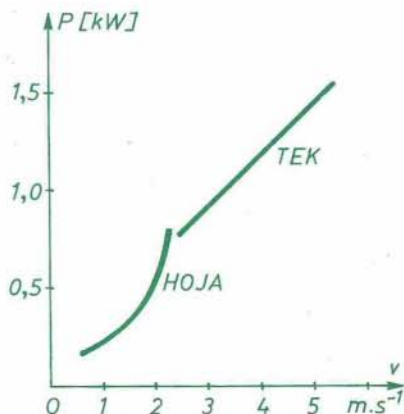
Nihanje navpične komponente celotne sile tal na nogi okrog njene srednje vrednosti povzroča nihanje težišča telesa v navpični smeri. Najbližje tlem je težišče v trenutkih, ko je sila največja, najbolj oddaljeno pa je, ko je sila najmanjša. Amplituda nihanja sile raste s hitrostjo hoje ali teka. Poskušajmo to razložiti v primeru hoje. Pri hoji je razdalja h med najvišjo in najnižjo lego težišča skoraj neodvisna od hitrosti v . Prehod med obema legama se izvrši v času $T/2$, torej tem hitreje, čim večja je hitrost hoje. Očitno je, da dobiva telo pri večji hitrosti večje pospeške v navpični smeri. Iz Newtonovega zakona torej sledi, da mora amplituda nihanja sile v navpični smeri rasti s hitrostjo hoje.

Na prvi pogled preseneča časovni potek sile tal na posamezno nogo pri hoji. Ta ima dva maksimuma, enega kmalu po začetku in drugega malo pred koncem dotika s tlemi. Med njima je minimum. Izrazitost maksimumov in minima hitro narašča s hitrostjo hoje. Pri prehodu v tek pa se razmere nenadoma spremenijo. Tu ima sila le en maksimum. Pri hoji, kjer je vedno vsaj ena noga na tleh, je časovni potek sile z dvema maksimuma nujen, saj mora v najvišji legi telesa rezultirajoča sila na telo, to je razlika med silo tal na nogi in silo teže, kazati navzdol, v najnižji legi pa navzgor.

Koliko energije rabimo za hojo ali tek? Sama mehanika ne more dati odgovora na to vprašanje. Pri hoji in teku se mehanska energija telesa, ki je enaka vsoti kinetične energije in potencialne energije v težnostnem polju, periodično spreminja. Vendar nam poznanje časovnega spreminjanja mehanske energije pove razmeroma malo o tem, koliko energije rabi telo za gibanje. Oglejmo si enostavnejši primer dvigovanja uteži. Pri dvigovanju opravlja telo "pozitivno" delo, ker potencialna energija uteži raste, in rabi energijo, ki je nujno večja od opravljenega dela. Pri napenjanju mišic se precej energije sprosti v obliki toplote. Pri počasnem spuščanju uteži, ko telo opravlja "negativno" delo, pa telo tudi porablja energijo. Spuščanje uteži je za telo ravno tako naporno in povzroča povečanje metabolizma v mišicah. Vidimo, da telo potrebuje energijo za opravljanje tako "pozitivnega" kot tudi "nega-



tivnega" dela. Energijo rabimo pri vsakem krčenju ali raztezanju mišic, pa tudi kadar je mišica napeta, čeprav se njena dolžina ne spreminja. Tipično porabo energije v časovni enoti ali porabljeno moč P pri hoji in teku v odvisnosti od hitrosti kaže slika 3.



Pri hoji narašča porabljena moč s hitrostjo hitreje kot linearno, pri teku pa je ta odvisnost skoraj linearna. Zaradi take odvisnosti porabljene moči od hitrosti sta enakomerna hoja oziroma tek v intervalu hitrosti $2 \text{ m s}^{-1} < v < 3 \text{ m s}^{-1}$, ko prehaja hoja v tek, energijsko neugodna. Manj moči porabimo v časovnem povprečju, če izmenoma hitro tečemo in počasi hodimo, tako da ostane povprečna potovalna hitrost ista.

Slika 3

Peter Gosar



Na poštah so tudi zelo lepi motivi z raznih športnih disciplin.