

Smučarski poleti v Planici

↓↓↓

ANDREJ LIKAR

→ Poleti v Planici privabijo mnoge gledalce. Tekmovanje je vedno privlačno, a tam nas prevzamejo tudi poleti sami. Najboljši tekmovalci so v zraku tudi do osem sekund in pri skoku presmučajo ter z veliko hitrostjo preletijo višinsko razliko blizu 200 metrov. Motor je pri tem teža, ki dela s povprečno močjo malo manj kot sedmimi kilovati. Z večjo močjo dela teža le še pri prosto padajočem padalcu, če se omejimo na športne dejavnosti brez vodenja strojev.

Planiška letalnica je ena večjih v svetu. Pred tekmovalcem v Planici je vsako leto v zraku pričakovanje svetovnega rekorda v dolžini poletov. Ali poznamo kake fizikalne omejitve pri dolžini poletov? Edina omejitev je, kot vse kaže, le velikost skakalnice. Pomembna ovira bi bil še neenakomeren veter, a izkušnje kažejo, da so tekmovanja izvedljiva tudi pri precej nemirnem ozračju. Izurjenost dobro treniranih skakalcev zagotavlja izjemno varnost, ki je ne premore alpsko smučanje, posebno ne tekme v smuku. Padci pri skokih in poletih so izjemno redki, sploh pa zadnje čase ni padcev, kjer bi se tekmovallec resneje poškodoval. So pa tekmovalci izpostavljeni hudim obremenitvam nog pri doskoku v dno skakalnice, kjer poškodbe kolenskih vezi niso tako zelo redke.

Oglejmo si fizikalno plat smučarskih poletov. Tu fizika v podrobnostih ni prav preprosta, saj deluje na skakalca poleg teže tudi sila zraka. Te ne moremo preprosto in zanesljivo zajeti z nekaj enačbami, saj

je tekmovalčeva geometrija skupaj z vso opremo zelo zapletena. Poleg tega se pri odskoku zelo hitro spreminja, tekmovalec se mora najprej krepko odriniti, potem na hitro poskrbeti za optimalno lego smuči in telesa pri jadranju skozi zrak. Tudi pri pristanku se lega telesa v kratkem času spremeni.

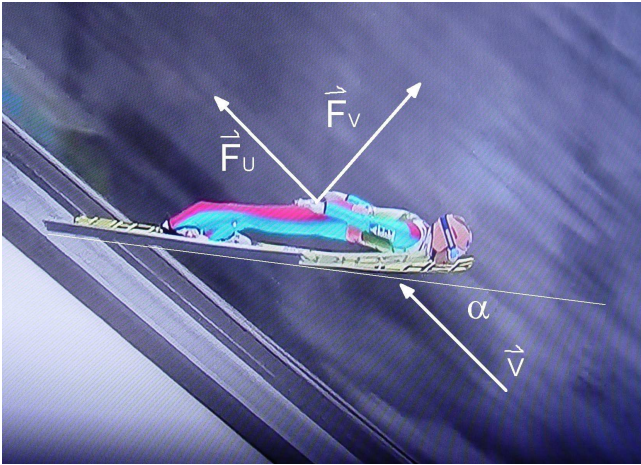
Če nimamo v mislih zahtevne raziskovalne naloge, ki bi morala čim natančneje opisati smučarja pri poletu, lahko poskusimo s preprostim modelom. Najprej moramo opredeliti sile na smučarja v zraku. S težo pač ni težav: deluje navzdol z velikostjo mg , kjer je m masa smučarja z opremo vred, g pa težni pospešek. Sila zraka pa je neprimerno bolj zapletena. Odvisna je od lege smučarja glede na zračni tok, ki ga le-ta pri letu občuti. Lego bomo opredelili le z enim parametrom, in sicer kotom α med ravnilo, ki jo tvorita smučki, in smerjo toka zraka. Ta smer je nasprotna smeri leta skakalca skozi zrak, kot to vidimo z roba skakalnice. Silo zraka na skakalca razdelimo na dve komponenti, in sicer na silo upora F_U , ki je vzporedna s hitrostjo zračnega toka, in na silo dinamičnega vzgona F_V , ki je na hitrost toka pravokotna (glej sliko 1). V vetrovnikih so ti dve sili merili in ju predstavili z naslednjima enačbama:

$$\blacksquare F_U = \frac{1}{2} \rho v^2 S_U$$

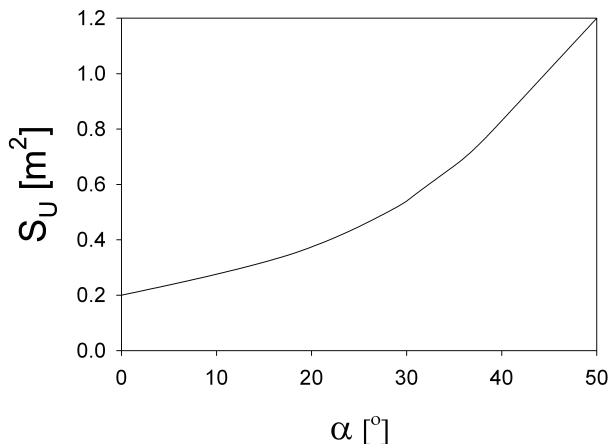
in

$$\blacksquare F_V = \frac{1}{2} \rho v^2 S_V.$$

Gre torej za kvadratni zakon glede na velikost hitrosti zraka v , efektivna preseka S_U in S_V pa sta zapleteni funkciji lege telesa glede na zračni tok. Pri samo enem parametru α in neki standardni legi skakalca, ki je več ali manj enaka pri vseh, je odvisnost efektivnih presekov prikazana na slikah 2 in 3.

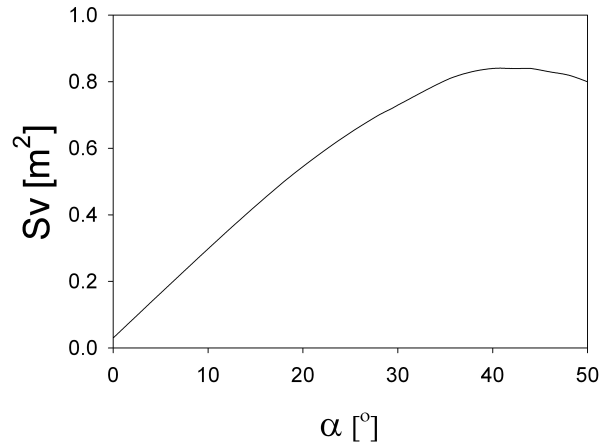
**SLIKA 1.**

Komponenti sile zraka na skakalca med poletom. $\vec{F}_U$ je sila upora, $\vec{F}_V$ pa sila dinamičnega vzgona. Zrak se glede na skakalca giblje s hitrostjo $\vec{v}$. Kot med ravnino smuči in hitrostjo $\vec{v}$ je označen z α .

**SLIKA 2.**

Efektivni presek sile upora v odvisnosti od kota α

Kako dobro smo s tem zajeli silo zraka na skakalca, preverimo tako, da izračunamo skakalčev tir in ga primerjamo s tirom, ki ga skakalec res opiše. V koordinatnem sistemu, kjer je os x vodoravna, os y

**SLIKA 3.**

Efektivni presek sile dinamičnega vzgona v odvisnosti od kota α

pa navpična navzgor, zapišemo Newtonov zakon za skakalca takole:

$$\begin{aligned} ma_x &= F_V \sin \varphi - F_U \cos \varphi, \\ ma_y &= -mg + F_V \cos \varphi + F_U \sin \varphi, \end{aligned}$$

kjer je kot φ trenutni kot med tirom skakalca in osjo x , a_x in a_y sta pospeška v ustreznih smereh. Ta kot je sicer blizu velikosti kota α , a je pomembno upoštevati naklon smuči glede na vodoravnico φ_s , ki je različen od nič. Pri letalnicah, kot je to planiška, večina tekmovalcev jadra nekoliko strmoglavo (glej sliko 4).

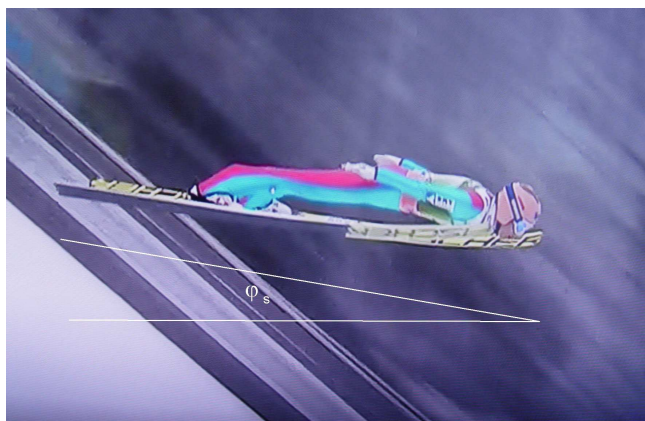
Z Newtonovim zakonom in začetnim vektorjem hitrosti, ki je vzporeden z odskočno mizo, ta pa je za 10° nagnjena glede na vodoravnico in velikostjo 28 ms^{-1} , dobimo za tri naklonske kote 25° , 5° in -15° tire, ki so predstavljeni na sliki 5. Maso skakalca z opremo vred smo postavili na 60 kg.

Do tirov smo prišli s pospeški iz Newtonovega zakona, kjer smo s programom za vsako desetinko sekunde izračunavali prirastke hitrosti v vodoravni in navpični smeri, iz tako dobljenega vektorja hitrosti $\vec{v}$ pa smo sproti določevali kot α in premike skakalca vzdolž poti. Vidimo, da je pri kotu 5° polet najdaljši. Z izbiro naklonskega kota φ_s lahko smučar močno





15

nadaljevanje
s strani

SLIKA 4.

Naklon skakalca φ_s glede na vodoravnico

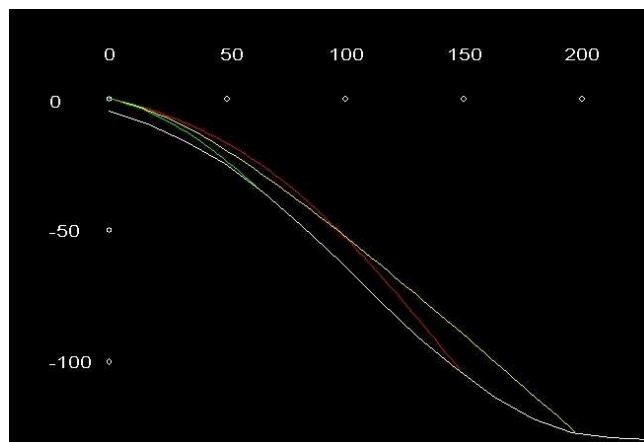
vpliva na svoj dosežek. Seveda je zelo pomemben tudi odskok, kjer so razmere zelo zapletene in jih pri našem računu nismo upoštevali. Privzeli smo, da se po odskoku smučar takoj postavi v lego s konstantnim naklonom smuči in telesa.

Kako lahko skakalec vpliva na svoj rezultat? Prav gotovo si s trdim treningom in z množico skokov pridobi potrebno spretnost, da se v pravem trenutku odrine in hitro postavi v najprimernejšo lego. Kako pa na dolžino skoka vpliva njegova masa? Račun pokaže, da za vsak kilogram povišane mase tekmovallec izgubi en meter pri dolžini skoka. Tekmovalci se zato trudijo zmanjšati telesno maso, kar pri mladencih ni zdravo. Da se hujšanje ne bi sprevrglo v bolezen, so predpisali najmanjšo celotno maso skakalca z opremo vred, ki mora ustrezati enačbi

$$\blacksquare \frac{m}{\text{kg}} \geq 21 \frac{h^2}{\text{m}^2}.$$

kjer je h telesna višina. Pri 1,7 m visokem tekmovalcu to znese okrog 60 kg.

V Newtonovem zakonu nastopa razmerje med efektivnima presekom S_U in S_V ter maso m . Efektivna preseka sta v grobem sorazmerna s kvadratom tekmovalčeve telesne višine h^2 . Pri enako grajenih tekmovalcih se prednost majhne mase torej izgubi, ker so pač lažji na račun manjše višine. A tekmovalci niso povsem enako grajeni in to nekaterim daje majhno prednost že pred tekmovalcem. S krojem in



SLIKA 5.

Tiri pri treh skokih, kjer je naklonski kot φ_s 25° (zelena krivulja), 5° (rumena krivulja) in -15° (rdeča krivulja). Krivulja v beli barvi je profil skakalnice HS 215, krožci pa označujejo vrednosti koordinat v metrih. Tir pri najdaljšem poletu se dobro ujema s tirom, ki so ga zabeležili pri skakalcu Simonu Ammannu, ko je poletel 233 m daleč. Profil skakalnice HS 215 najdemo na spletu.

s tkanino skakalnega dresa lahko to prednost še povečajo. Zato morajo tekmovalci tudi pri dresih slediti določenim pravilom, da se ta prednost čim bolj zmanjša. Ker so tekmovalci večinoma mladeniči, katerih telo se iz leta v leto znatno spremeni, nas ne preseneča zaton nekdanjih vrhunskih tekmovalcev.

Na dolžino skoka močno vpliva začetna hitrost. Vsak meter na sekundo višja začetna hitrost pomeni 10 m daljši skok. Prevelika začetna hitrost in nenađen vzgonski veter po skakalnici navzgor lahko pripelje do bolečega in nevarnega pristanka v dno skakalnice kljub zaviranju pred doskokom. Nadzor nad začetno hitrostjo je zato poglobitna skrb pri vodenju poletov.

× × ×

www.obzornik.si
www.dmfa.si