



Bojan Jošt,
Janez Vodičar, Maja Ulaga

Struktura povezanosti izbranih kinematičnih spremenljivk in dolžine poletov na tekmovanjih za svetovni pokal

Izvleček

Poleti na smučeh so atraktivna zimsko športna disciplina, ki vedno znova privlači veliko gledalcev. Zanimive prireditve v poletih na smučeh se praviloma izvajajo konec posamezne sezone smučarjev skakalcev tudi na Letalnici bratov Gorišek v Planici. Namen raziskave je bil proučiti strukturo izbranih kinematičnih dejavnikov tehnike poletov na smučeh (zaletna hitrost, višina leta v točki 112 m, aerodinamični indeks leta v točki 112 m, točke FIS za hitrost in smer vetra) predvsem z vidika njihove povezanosti z dolžino poletov. V raziskavo so bili zajeti najboljši smučarji skakalci, ki so nastopili v štirih tekmovalnih serijah poletov na posamičnih tekmovanjih v Planici v letu 2009, 2010 in 2013. Rezultati so pokazali visoko stopnjo variabilnosti rezultatov osnovne statistike po posameznih neodvisnih spremenljivkah po posameznih serijah poletov. Višina leta v točki 112 m je dosegla najvišje vrednosti na popoldanskem tekmovanju v letu 2013, ko so skakalci uporabljali najmanjše velikosti skakalnih dresov (+ 2 cm). To je prispevalo k visokim vpadnim kotom pri doskoku in povečanim pritiskom ob stiku s podlago. Mednarodna smučarska zveza je zato leto kasneje v sezoni 2013/14 dovolila uporabo večjih skakalnih dresov (do + 4 cm). Spremenljivka višine leta je bila na splošno visoko značilno povezana z dolžino poletov ($p < 0,05$). Pri posameznih serijah poletov na tekmovanju v letu 2013 je bila na zadnji finalni tekmi v obeh serijah ugotovljena značilna korelacija med spremenljivko točke FIS za veter in dolžino poletov ($r = 0,51^{**}$ in $r = 0,66^{**}$).

Ključne besede: smučarski skoki, kinematika, tekmovalni dres



Structure of the correlation between selected kinematic variables and flight length at the ski jumping world cup competitions

Abstract

Ski jumping is an attractive winter sport which always gathers huge spectator numbers. One of the venues for interesting ski jumping events at the end of individual seasons is the Bratov Gorišek ski jump in Planica. The study aimed to examine the structure of selected kinematic factors of the ski jumping technique (run-up velocity, flight height at the 112 m point, aerodynamic index of the flight at the 112 m point, FIS points for wind speed and direction) mainly in terms of their correlation with the length of ski jumps. The research included the best ski jumpers who took part in four ski jumping competitive series in individual competitions in Planica in 2009, 2010 and 2013. The results showed considerable variability of the basic statistical results in terms of individual independent variables and ski jumping series. The flight height at the 112 m point was greatest during the afternoon competition in 2013 when ski jumpers used the smallest size competition suits (+2 cm). This contributed to large angles of incidence in the landing phase and higher pressures on contact with the ground. Consequently, the International Ski Federation allowed the use of larger competition suits (up to +4 cm) the next year, i.e. in the 2013/2014 season. The variable of flight height was generally highly statistically significantly correlated with the flight length ($p < 0.05$). In individual series of jumps at the 2013 competition, during the last final round, a significant correlation between the variable of the FIS points for wind and the flight length ($r = 0.51^{**}$ and $r = 0.66^{**}$) was established in both series.

Key words: ski jumping, kinematics, competition suits

■ Uvod

Na dolžino poletov smučarjev skakalcev vpliva veliko število dejavnikov (Müller, 2009; Müller, Gröschl, Müller in Sudi, 2006; Oggiano in Saetran, 2009). Med njimi so tudi kinematični dejavniki tehnike smučarskega skoka (Jošt, Čoh, Pustovrh in Ulaga, 1999; Jošt, Kugovnik in Colja, 1997). S pomočjo kinematičnih dejavnikov se lahko analizira in predvideva krivuljo leta, ki s povečanjem letalnica postaja vse bolj variabilna glede višine poletov in naklonov leta skakalcev (Jošt, Čoh in Vodičar, 2013; Müller, 1997). Višina leta je odvisna od kompleksnega vpliva številnih dejavnikov (geometrijske značilnosti profila letalnice, tehnika leta, aerodinamični dejavniki, vremenske razmere ter morfološke značilnosti skakalca). Med morfološkimi dejavniki je imela v preteklosti močan vpliv telesna teža smučarjev skakalcev, ki pomembno vpliva na aerodinamiko letenja (Schmölzer in Müller, 2002).

Na letalnici imajo pomemben vpliv aerodinamični dejavniki, ki značilno določajo tehniko poletov smučarjev skakalcev (Nørstrud, 2008; Virravirta idr., 2005). Na aerodinamične značilnosti značilno vplivajo dejavniki skakalnega dresa. V preteklih letih se je velikost dresa spreminjala (od +6 cm v sezoni 2012/13, do +2 cm v sezoni 2012/13, do +4 cm v sezoni 2014/15 in do +3 cm v sezoni 2015/16). Velikost skakalnega dresa pomembno prispeva h kvaliteti aerodinamike leta in predvsem k dolžini poletov. Hkrati pa večji skakalni dresi prispevajo k večji varnosti skakalcev med letom in še zlasti pri pristanku, kjer je pritisk na telo manjši. Namen te raziskave je bil ugotoviti spremembe v krivulji leta, ki bi bile lahko povzročene s pomanjšanjem velikosti skakalnega dresa v sezoni 2012/13. Prvi cilj raziskave je bil ugotoviti povezanost med višino krivulje leta in dolžino poletov v izbranih tekmovalnih serijah na tekmovanjih za svetovni pokal v sezonah 2008/09 in 2012/13 ter svetovnem prvenstvu v poletih 2010 v Planici. Drugi cilj raziskave je bil ugotoviti strukturo povezanosti med dolžino poletov na finalu svetovnega pokala v Planici 2012/13 in štirimi neodvisnimi dejavniki, ki pomembno določajo dolžino poletov (zaletna hitrost, višina leta v točki 112 m, aerodinamični indeks leta in hitrost vetra).

■ Metode dela

V raziskavi so bili proučevani smučarji skakalci, ki so nastopili na finalu svetovnega

Tabela 1: Število vključenih skakalcev v raziskavo

| | 2009 | 2010 | 2013 |
|---------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| prva serija | 20. 3. 2009 n = 40 | 19. 3. 2010 n = 40 | 22. 3. 2013 n = 20 |
| druga serija | | 19. 3. 2010 n = 31 | 22. 3. 2013 n = 30 |
| tretja serija | 22. 3. 2009 n = 40 | 20. 3. 2010 n = 30 | 24. 3. 2013 n = 30 |
| četrti serija | 22. 3. 2009 n = 30 | 20. 3. 2010 n = 30 | 24. 3. 2013 n = 30 |

pokala v Planici 2009, na svetovnem prvenstvu v smučarskih poletih v Planici 2010 in na finalu svetovnega pokala v Planici 2013. Za analizo so bile izbrane štiri serije skokov (Tabela 1). V sezoni 2012/13 je bilo že uvedeno pravilo, ki je dopuščalo znotraj serije različna zaletna mesta. Zaradi tega je bila v prvi seriji 22. 03. 2013 izbrana največja skupina 20 skakalcev, ki je nastopila iz istega zaletnega mesta.

Spremenljivke dolžina skoka (m), zaletna hitrost (m/s), točke FIS za hitrost in smer vetra (m/s) so povzete iz uradnih rezultatov FIS. Na tekmi je hitrost vetra 1 m/s pomenila linearno transformacijo v vrednost 12 točk, kar je pomenilo 10 m dolžine poleta.

Višina krivulje leta je bila izračunana s pomočjo kinematične analize v osrednjem delu leta. Kamera je bila postavljena pravokotno cca. 30 m od pričakovane povprečne višine leta v točki 112 m od roba odskočne mize.

Za vsakega merjenca je bila izračunana višina leta kot razdalja med točko osi kolčnega sklepa in referenčno točko na višini 4,5 m (Slika 1).

Spremenljivka aerodinamični indeks leta je bila izračunana kot razmerje med največjo vertikalno in horizontalno razdaljo sistema skakalec smučar.

■ Rezultati in razprava

Povprečne vrednosti dolžine poletov so se značilno razlikovale med posameznimi serijami poletov (Tabela 2). Razlika v povprečni dolžini leta med prvo serijo v letu 2009 in četrto serijo v letu 2010 je bila kar 31 m. Na povprečno dolžino poletov je vplivalo več dejavnikov, ki so pretežno odvisni od pogojev, v katerih so tekmovanja potekala. Spremenljivke dolžine poletov so imele visoko variabilnost smučarjev skakalcev, izraženo v standardni deviaciji. Največja vrednost (24,9 m) standardne deviacije je bila izračunana pri tretji seriji poletov v letu 2009.



Slika 1: Prikaz postopka izmere spremljivke višine leta in spremljivke aerodinamični indeks leta.

Povprečne vrednosti zaletne hitrosti (Tabela 3) so bile najvišje v sezoni 2012/13, ko so skakalci uporabljali najmanjše skakalne drese (dovoljeno odstopanje + 2 cm).

Povprečne vrednosti aerodinamičnega indeksa so bile pri vseh štirih serijah poletov dokaj enake (Tabela 4).

Spremenljivka aerodinamični indeks leta v točki 112 m je bila na prvi tekmi v prvi seriji močno povezan z dolžino poletov ($r = -0,64^{**}$). Skakalci z daljšimi poletmi so imeli

Tabela 2: Osnovna statistika odvisne spremenljivke dolžina poletov

| | | | 1. serija | 2. serija | 3. serija | 4. serija |
|---------------------|------|----|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Dolžina poletov (m) | 2009 | M | 176,0 | | 186,0 | 193,0 |
| | | SD | 18,5 | | 24,9 | 17,0 |
| | 2010 | M | 190,7 | 200,3 | 205,7 | 207,1 |
| | | SD | 19,3 | 10,7 | 14,2 | 15,0 |
| | 2013 | M | 197,8 | 202,5 | 196,6 | 197,3 |
| | | SD | 12,4 | 9,6 | 12,7 | 13,8 |

Legenda. M – povprečna vrednost, SD – standardna deviacija.

Tabela 3: Osnovna statistika spremenljivke zaletna hitrost

| | | | 1. serija | 2. serija | 3. serija | 4. serija |
|------------------------|------|----|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Zaletna hitrost (km/h) | 2009 | M | 103,6 | | 101,0 | 101,6 |
| | | SD | 0,54 | | 0,56 | 0,52 |
| | | r | ,01 | | ,27 | ,31 |
| | 2010 | M | 105,5 | 106,1 | 104,0 | 104,1 |
| | | SD | 0,68 | 0,49 | 0,78 | 1,04 |
| | | r | | -,15 | -,34 | -,55** |
| | 2013 | M | 106,9 | 106,9 | 105,3 | 105,6 |
| | | SD | 0,49 | 0,56 | 0,50 | 0,44 |
| | | r | ,26 | ,30 | ,38* | ,15 |

Legenda. M – povprečna vrednost, SD – standardna deviacija, r – Pearsonov koeficient korelacije.

*p < ,05, **p < ,01.

Tabela 4: Osnovna statistika spremenljivke – aerodinamični indeks leta v točki 112 m

| | | | 1. serija | 2. serija | 3. serija | 4. serija |
|---------------------------|------|----|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Aerodinamični indeks leta | 2013 | M | 0,22 | 0,23 | 0,24 | 0,24 |
| | | SD | 0,03 | 0,02 | 0,03 | 0,03 |
| | | r | -,64** | -,15 | -,40* | -,28 |

Legenda. M – povprečna vrednost, SD – standardna deviacija, r – Pearsonov koeficient korelacije.

*p < ,05, **p < ,01.

Tabela 5: Osnovna statistika spremenljivke – točke FIS za veter

| | | | 1. serija | 2. serija | 3. serija | 4. serija |
|--------------------|------|----|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Točke FIS za veter | 2013 | M | -4,2 | -1,3 | 2,3 | 2,8 |
| | | SD | 4,3 | 1,3 | 2,6 | 2,8 |
| | | r | -,15 | -,18 | -,51** | -,66** |

Legenda. M – povprečna vrednost, SD – standardna deviacija, r – Pearsonov koeficient korelacije.

*p < ,05, **p < ,01.

Tabela 6: Osnovna statistika spremenljivke – višina leta v točki 112 m

| | | | 1. serija | 2. serija | 3. serija | 4. serija |
|--------------------------|------|----|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Višina krivulje leta (m) | 2009 | M | 3,5 | | 3,9 | 4,4 |
| | | SD | 1,4 | | 1,6 | 1,6 |
| | | r | 0,74** | | 0,79** | 0,73** |
| | 2010 | M | 5,2 | 6,3 | 5,0 | 5,2 |
| | | SD | 1,4 | 1,2 | 1,2 | 1,3 |
| | | r | 0,56** | 0,49** | 0,38* | 0,42** |
| | 2013 | M | 7,2 | 7,3 | 5,8 | 6,0 |
| | | SD | 0,7 | 1,3 | 1,2 | 1,0 |
| | | r | 0,05 | 0,35* | 0,50** | 0,43* |

Legenda. M – povprečna vrednost, SD – standardna deviacija, r – Pearsonov koeficient korelacije.

*p < ,05, **p < ,01.

manjše vrednosti aerodinamičnega indeksa. Značilna povezanost je bila tudi na zadnji tekmi svetovnega pokala v letu 2013 pri prvem poletu ($r = -0,40^{**}$).

Pri spremenljivki točke FIS za veter je bila prisotna visoka variabilnost v vseh štirih tekmovalnih serijah (Tabela 5).

Hitrost in smer vetra na letalnici sta ustvarjala specifične pogoje, ki so dokaj močno vplivali na dolžino poletov skakalcev na zadnjem nedeljskem tekmovanju. Proučevanja vpliva hitrosti vetra so pokazala, da pri nizkih vrednostih ne prihaja do problematičnih situacij. Pri visokih vrednostih hitrosti vetra pa se lahko pojavijo situacije, ki lahko nelinearno prispevajo k ekstremnemu povečanju dolžine poletov ali pa jih povsem skrajšajo (Virmavirta in Kivekäs, 2011).

Spremenljivka 'višina leta' je bila dokaj variabilna in na splošno najnižja v letu 2009 (Tabela 6).

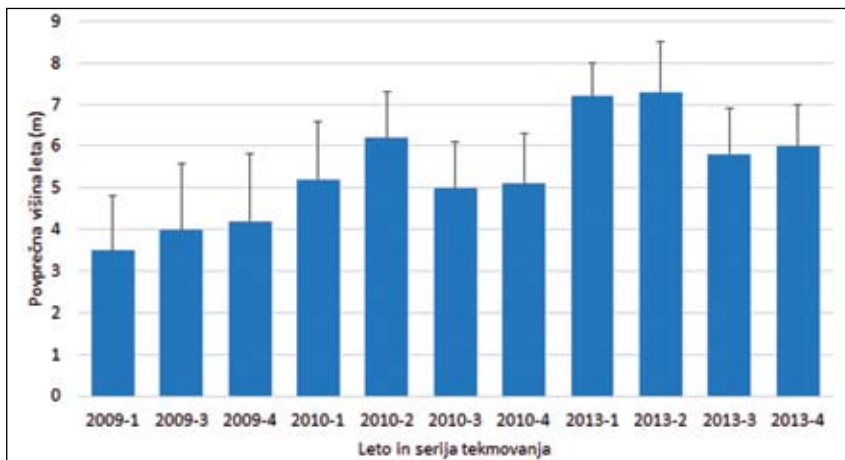
Spremenljivka 'višina leta' (Slika 2) je dosegla značilno najvišje vrednosti v sezoni 2012/13 v popoldanskem času tekmovanja, ko so skakalci uporabljali najmanjše skakalne drese (do + 2 cm).

Uporaba manjših dresov v sezoni 2012/13 je povzročila slabše aerodinamične značilnosti, ki so se odrazile v znatno višji krivulji leta v osrednjem delu poletov, še zlasti pri popoldanskih serijah poletov. V popoldanskem času so aerodinamične razmere za polete na planiški letalnici na splošno slabše (vpliv vetra v hrbet) kot v dopoldanskem času (vpliv vetra v prsi).

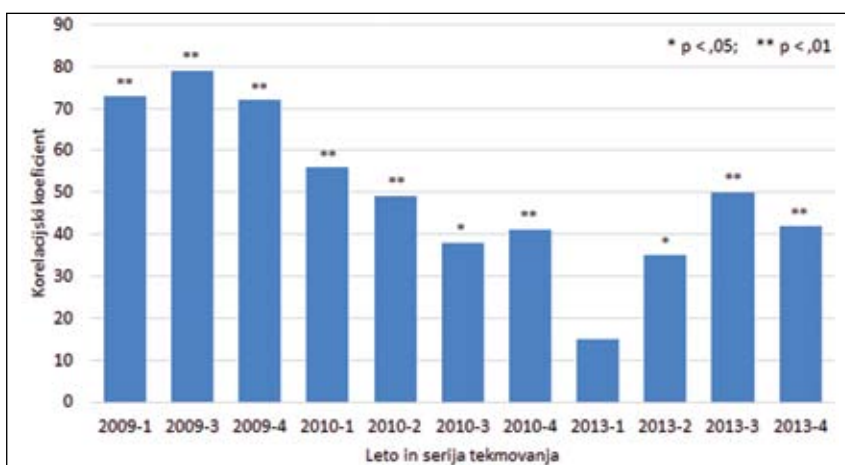
Spremenljivka 'višina leta' v točki 112 m je bila na splošno v značilni korelaciji z dolžino poletov (Slika 3).

Najvišje vrednosti koeficienta korelacije so bile dosežene na tekmovanju v letu 2009. Kasneje so bile vrednosti nižje, vendar na splošno še vedno statistično značilne. Neznačilna korelacija ($r = 0,05$) je bila izračunana zgolj pri prvem poletu v letu 2013, ko je bila zajeta v obravnavo le polovica vseh nastopajočih skakalcev ($n = 20$).

Na osnovi rezultatov korelacije med dolžino poletov in izbranimi neodvisnimi spremenljivkami se po posameznih serijah kažejo povsem različne konfiguracije strukture koeficientov korelacije. To kaže na visoko strukturno raznovrstnost izbranih kinematičnih dejavnikov, ki določajo tekmovalno uspešnost smučarjev skakalcev. Pri isti kvaliteti tehnike smučarskega skoka so bili lahko posamezni skakalci zaradi vpliva delovanja



Slika 2: Povprečne vrednosti in standardne deviacije spremenljivke 'višina leta' v točki 112 m.



Slika 3: Prikaz koeficientov korelacije med spremenljivko 'višina leta' v točki 112 m in dolžino poletov v vseh štirih serijah.

zunanjih objektivnih dejavnikov (zaletna hitrost, hitrost vetra, vremenske razmere) povsem različno tekmovalno uspešni.

Zaključek

Krivulja leta smučarjev skalalcev je odvisna od mnogih dejavnikov, ki kompleksno vplivajo na njene kinematične značilnosti. Na osnovi triletnega proučevanja (leto 2009, leto 2010 in leto 2013) krivulje leta na letalnici v Planici je bilo na vzorcu najboljših skalalcev moč ugotoviti naslednje.

Zaletne hitrosti v letu 2013 so se glede na zadnja tri leta (2009–2013) povečale za približno 1 do 2 km/h. Ti prirastki povprečne zaletne hitrosti niso bistveno povečali zaletne hitrosti ob upoštevanju povprečnih dolžin skokov in vplivu vetra. Bistvene razlike v povprečnih zaletnih hitrostih se na letalnici v Planici tradicionalno kažejo glede na čas izvedbe tekmovanj. Tekmovanja, ki so bila na sporedu v petek v popoldanskem času, so praviloma potekala v slabših vetrovnih

razmerah, kar je na splošno povzročilo višjo zaletno hitrost in predvsem višjo hitrost vožnje po doskoku ter vožnje v iztek. V letu 2009 so bile izmerjene na tekmovanjih v dopoldanskem času nekoliko nižje zaletne hitrosti. Vendar pa so bile drugačne tudi konstrukcijske značilnosti letalnice v Planici. To leto letalnica še ni bila rekonstruirana. Neposredna primerjava med rezultati tako tudi ni mogoča. Od leta 2010 do leta 2013, ko je bila letalnica rekonstruirana, se zaletne hitrosti tekmovanj v dopoldanskem času niso bistveno spremenile.

Bolj opazna je bila v letu 2013 sprememba v višini leta v osrednjem delu. Ta se je v letu 2013 v povprečju glede na leto 2010 in leto 2009 dvignila v točki opazovanja 112 m za cca. 2 m v dopoldanskem času in 3 m v popoldanskem času. Še zlasti se je povečala povprečna višina poletov ($M = 7,3$ m) na popoldanskem tekmovanju. Nekateri skakalci so dosegli v točki opazovanja 112 m višino poletov 10 m in celo več. To pa posledično pomeni znatno večje vpadne

kote pri doskoku in s tem večje sile v fazi vzpostavitve stika s podlago pri doskoku.

Literatura

- Jošt, B., Čoh, M. in Vodičar, J. (2013). *Design of a Ski Flying Hill with the Profile HS300m: A Kinematic Analysis of the Flying Curve of Ski Jumpers*. Hamburg: Schriften zur Sportwissenschaft.
- Jošt, B., Kugovnik, O. in Colja, I. (1997). Analysis of kinematics variables and their relation to the performance of ski jumpers at the World Championship in ski flight at Planica 1994. *Kinesiology*, 29(1), 35–44.
- Jošt, B., Čoh, M., Pustovrh, J. in Ulaga, M. (1999). Analysis of the Selected Kinematic Variables of the Take-off in Ski Jumps in the Finals of the World Cup at Planica in 1999. *Kinesiology Slovenica*, 5 (1 2), 17–25.
- Maryniak, J., Ladyzynska, K. E., in Tomczak, S. (2009). Configurations of the Graf-Boklev (V-style) Ski Jumper Model and Aerodynamic Parameters in a Wind Tunnel. *Human movement*, 10(2), 130–136.
- Müller, W. (1997). Biomechanics of Ski-Jumping-Scientific Jumping Hill Design. V E. Müller idr. (ur.). *Science and Skiing*. (str. 36–48). London: E&FN Spon.
- Müller, W. (2009). Determinants of Ski-Jump Performance and Implications for Health, Safety and Fairness. *Sports medicine*, 39(2), 85–106.
- Müller, W., Gröschl, W., Müller, R., in Sudi, K. (2006). Underweight in Ski Jumping: The Solution of the Problem. *International Journal of Sports Medicine*, 27 (11), 926–934.
- Nørstrud, H. (2008). Some Aspects of Ski Jumping. *Sport Aerodynamics*, 506, 217–228.
- Oggiano, L. in Saetran, L. (2009). Effects of Body Weight on Ski Jumping Performances under the New FIF Rules (P3). V M. Estivalet in P. Brisson (ur.), *The Engineering of sport 7* (str. 1–9). Paris: Springer Verlag.
- Schmölzer, B. in Müller, W. (2002). The Importance of being Light: Aerodynamic Forces and Weight in Ski Jumping. *Journal of Biomechanics*, 35, 1059–1069.
- Virmavirta, M., Isolehto, J., Komi, P. V., Bruggemann, G. P., Müller, E. in Schwameder, H. (2005). Characteristics of the Early Flight Phase in the Olympic Ski jumping Competition. *Journal of Biomechanics*, 38, 2157–2163.
- Virmavirta, M. in Kivekäs, J. (2011). The effect of wind on jumping distance in ski jumping – fairness assessed. *Sport Biomechanics*, 11(1), 358–369.

Prof. dr. Bojan Jošt, prof. šp. vžg
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport
bojan.jost@fsp.uni-lj.si