

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

V zbirki je izvorna različica izdajatelja.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

University  
of Ljubljana  
Faculty of  
Civil and Geodetic  
Engineering



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is a publisher's version PDF file.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Marjetič, A., Kregar, K., Kogoj, D. 2014. Geodetsko merjenje dolžin v atletiki = Geodetic measurement of distances in athletics. Geodetski vestnik 58, 2: 243–253.

DOI: <http://dx.doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2014.02.243-253>  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/4799/>

Datum arhiviranja / Archiving Date: 29-07-2014

# GEODETSKO MERJENJE DOLŽIN V ATLETIKI

# GEODETTIC MEASUREMENT OF DISTANCES IN ATHLETICS

*Aleš Marjetič, Klemen Kregar, Dušan Kogoj*

UDK: UDK: 528.02:796.42(497.4)  
Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.04  
Prispelo: 2.1.2014  
Sprejeto: 11.4.2014

DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2014.02.243-253  
PROFESSIONAL ARTICLE  
Received: 2.1.2014  
Accepted: 11.4.2014

## IZVLEČEK

*Geodetske meritve so nenadomestljive tudi zunaj področja geodetskih strokovno-tehničnih nalog. V članku opisujemo uporabnost geodezije pri merjenju rezultata v metalnih disciplinah v skladu s pravili mednarodne atletske zveze IAAF. Obravnava je osredotočena na terestrično meritev in geometrijsko rešitev pri določitvi rezultata atleta metalca pri metu kopja, diska in kladiva ter suvanju krogle. Raziskani so nekateri vplivi na meritve v okviru predpisane natančnosti rezultata. Analizirana sta vpliv naklona in težnosti na rezultat atleta ter vpliv mesta postavitve instrumenta na natančnost določitve dolžine meta.*

## ABSTRACT

*Geodetic measurements are indispensable beyond the borders of surveying technical tasks. In this paper, the usefulness of geodesy in the measurement of sport results is described for throwing events, in accordance with the rules accepted by the IAAF. The article focuses on terrestrial measurements and geometric solutions for the determination of the result of an athlete in the javelin, hammer and discus throw and shot putt. Some effects on measurements within the specified precision of the result are studied. We analyse the influence of ground inclination and gravity on the sport result and the influence of the location of the instrument on the precision of the length of throw.*

## KLJUČNE BESEDE

atletika, rezultat, geodetske meritve, tahimeter, natančnost

## KEY WORDS

athletics, sport result, geodetic measurements, tachymeter, precision

## 1 UVOD

Pravimo, da je atletika kraljica športov, saj so bile atletske discipline že del prvih olimpijskih iger v Grčiji leta 776 pr. Kr. Tako lahko rečemo, da atletiko poznamo že kakih 2800 let. Od takrat pa se je tako kot druge športne discipline tekmovalno, družbeno, ekonomsko in tehnološko močno spremenila. Moderna atletika se glede na načine gibanja telesa deli na teke, skoke in mete. Rezultat športnika atleta je izražen z izmerjenim časom, dolžino ali višino. V atletiki se zahtevajo točne in natančne meritve časa teka, dolžine meta in dolžine ali višine skoka. Večina tekmovalnj se izvede na atletskem stadionu, ki mora ustrezati stroгим zahtevam. Predpisana je geometrija stadiona, določene so dolžine tekaških prog, njihova ukrivljenost v krivinah, njihovi prečni in vzdolžni nakloni, še dopustni nakloni travnate površine pri metalnih disciplinah, dimenzije zaletnih con pri metih itd. Geodetske meritve so torej nujne tako pri konstruiranju in gradnji tekmovalnih površin ter označevanju tekmovalnih stez in zaletnih con ter metalnih polj kot pri izvedbi tekmovalnj.

V članku obravnavamo vlogo geodezije pri določitvi rezultata meta in morebitne vplive na rezultat pri metu kopja, diska in kladiva ter suvanju krogle.

## 2 ZAHTEVE IN PRAVILA IAAF

Vsa pravila za izvedbo atletskih tekmovalnj predpisuje mednarodna atletska zveza IAAF (angl. International Association of Athletics Federations), ustanovljena 17. julija 1912 v Stockholmu. V 5. poglavju zbirke tekmovalnih pravil (IAAF, 2011) z naslovom Tehnična pravila so obravnavana tekmovalna pravila za vse atletske discipline, tudi postopki pri merjenju dolžin metov. Merjene dolžine morajo biti med seboj primerljive. Z geodetske perspektive lahko rečemo, da moramo zagotoviti enak »geodetski datum« za celotno tekmovalje. Izmerjena dolžina mora ustrezati mednarodnim standardom. To pomeni, da mora merilo merilne naprave ustrezati opredelitvi merske enote (meter), kar omogoča primerjavo dolžin med tekmovalnji po svetu in s tem določitev rekordov na različnih ravneh tekmovalnj. Poleg primerne merske podlage je za nemoteno izvedbo tekmovalnj pomembno, da je dolžina izmerjena hitro. Od konca meta ali skoka do objave rezultata lahko preteče le nekaj sekund. Merjenja zato ni mogoče ponavljati. Kontrola morebitnih grobih pogrškov ni mogoča, kar pa ni v skladu z običajno geodetsko prakso.

Pravilo 148 IAAF (IAAF, 2011) dovoljuje, da se dolžine merijo z jeklenim merskim trakom, mersko letvijo ali geodetskim merskim instrumentom. Uporabljeno merilno sredstvo mora biti certificirano pri IAAF, njegova natančnost pa določena po standardiziranem postopku pri akreditirani nacionalni instituciji za meroslovje. To omogoča merilno sledljivost.

V atletiki so se dolžine do 70. let prejšnjega stoletja merile z jeklenim merskim trakom. Na XX. olimpijadi moderne dobe v Münchnu leta 1972 pa so dolžine metov prvič merili elektronsko. Uporabili so instrument Zeiss RegElta 14 (Tuno, 2012), slavni elektronski tahimeter podjetja Zeiss, ki se je s svojo napredno tehnologijo vpisal v zgodovino. Bil je prvi geodetski instrument z možnostjo samodejne registracije merskih vrednosti. Z razvojem sodobnih elektronskih tahimetrov se je postopek meritev močno pospešil in dodobra tudi avtomatiziral. Velika prednost je uporaba sistemov samodejnega prepoznavanja tarč. V skladu s pravili IAAF se zahteva uporaba kalibriranega instrumenta ali naprave. Opredeljena je tudi zahtevana natančnost naprave oziroma instrumenta, s katerim bomo merjenja izvedli. Za elektrooptični razdaljemer veljajo naslednje vrednosti, povzete po navodilih IAAF za elektrooptične razdaljemere (IAAF, 2010):

- če zahtevamo 67-odstotni interval zaupanja za posamezno meritev, je zahtevana natančnost merjenja dolžin  $\pm(3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$ ;
- če zahtevamo 95-odstotni interval zaupanja za posamezno meritev, je zahtevana natančnost merjenja dolžin  $\pm(6 \text{ mm} + 6 \text{ ppm})$ .

Merilna oprema mora biti postavljena tako, da ne moti poteka tekmovanja in je pri meritvah z elektronskimi tahimetri omogočena prosta vizura do točke pristanka metalnega orodja. Zaradi množice sodnikov, tekmovalcev in opreme pa lahko ta zahteva pomeni kar precejšen izziv.

V skladu s pravilom 137 IAAF (IAAF, 2011) je pri meritvah na tekmovališču prisoten sodnik. Geodeta mora seznaniti z merilnim instrumentom, sodnik pa je dolžan preveriti, ali je uporabljeni instrument certificiran pri pristojnih institucijah. Pred tekmovanjem nadzoruje postavitev instrumenta na primerno mesto v skladu s tekmovalnimi pravili. Poleg tega v skladu z istim pravilom preveri pravilno delovanje instrumenta tako, da primerja niz izmerjenih dolžin z elektronskim tahimetrom z dolžinami, izmerjenimi s certificiranim jeklenim merskim trakom. To stori pred tekmovanjem in po njem. Skladnost potrdi s podpisom zapisnika, ki se doda seznamu rezultatov na koncu tekmovanja.

### 3 PREGLED PO DISCIPLINAH

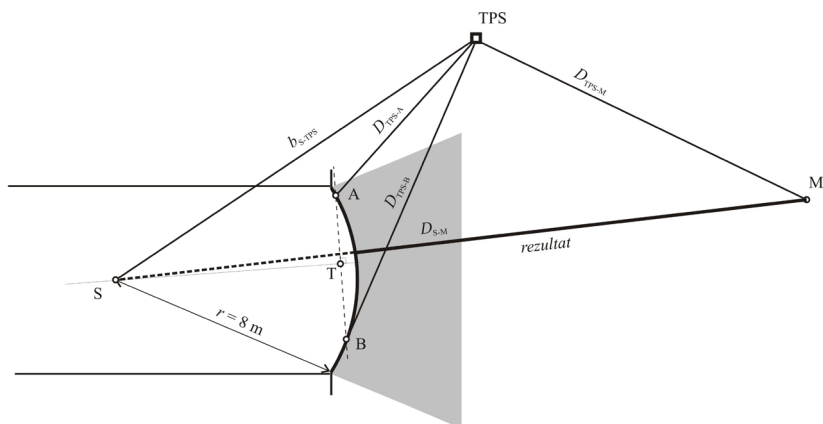
V skladu s pravili 187.19–187.21 (IAAF, 2011) je treba pri vseh metalnih disciplinah opraviti merjenje dolžine meta:

- Rezultat atleta je dolžina meta, zaokrožena na en centimeter navzdol, če izmerjena dolžina ni cel centimeter (primer: izmerjena dolžina = 92,248 m  $\rightarrow$  rezultat = 92,24 m).
- Meritev mora biti opravljena takoj po metu:
  - od točke vboda kopja do notranjega roba loka, ki označuje konec metalne steze, v smeri proti središču krožnega loka;
  - od najbližje točke sledi padca metalnega orodja (kjer metalno orodje najprej zadene tla) do notranjega roba loka metalnega kroga v smeri proti središču kroga za suvanje krogle, met kladiva ali met diska;
  - na točko sodnik postavi reflektor na togem grezilu. Reflektor je nameščen na dnu togega grezila, s čimer se zmanjša vpliv nevertikalne postavitve reflektorja glede na mesto padca orodja v času izvajanja meritve.

Metodološko postopek meritev in izračuna ločimo za met kopja ter met kladiva, diska in suvanje krogle. Razlikovanje izvira iz števila merjenih točk na delu krožnega loka, s katerim je omejen izmetni krog, na podlagi katerih se opredeli središče metalnega kroga. Pri metu kopja je polmer metalnega kroga bistveno večji, zato je označen samo manjši del krožnega loka. Zato na tem loku merimo samo dve točki, pri metu kladiva, diska in suvanju krogle pa za določitev središča metalnega kroga merimo tri točke (Leica Geosystems, 2005).

#### 3.1 Met kopja

Postopek izračuna dolžine meta kopja je enostavna geometrijska naloga. Izhajamo iz slike 1 in osnov koordinatnega računa.



Slika 1: Določitev dolžine pri metu kopja.

Rezultat določimo v dveh korakih.

### A. Določitev središča metalne steze S

Izhajamo iz izbranega položaja stojišča TPS ( $y_{TPS}, x_{TPS}$ ) ter merjenih horizontalnih dolžin in smeri proti točkama A in B:  $D_{TPS-A}, a_{TPS-A}, D_{TPS-B}, a_{TPS-B}$ . Najprej je potrebno izračunati koordinate točk A in B:

$$y_i = y_{TPS} + D_{TPS-i} \cdot \sin(a_{TPS-i}), \quad x_i = x_{TPS} + D_{TPS-i} \cdot \cos(a_{TPS-i}), \quad \text{kjer je } i = A, B \quad (1)$$

Iz znanih položajev točk A in B lahko izračunamo dolžino in smerni kot med njima:

$$d_{A-B} = \sqrt{(y_B - y_A)^2 + (x_B - x_A)^2}, \quad \nu_A^B = \arctan \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} \quad (2)$$

Določimo položaj točke T, ki leži na sredini med točkama A in B, smerni kot od T proti središču S ter dolžino med T in S:

$$T\left(\frac{y_A + y_B}{2}, \frac{x_A + x_B}{2}\right), \quad \nu_T^S = \nu_A^B + 90^\circ, \quad d_{T-S} = \sqrt{r^2 - \left(\frac{d_{A-B}}{2}\right)^2} \quad (3)$$

Izračunamo koordinate središča S:

$$y_S = y_T + d_{T-S} \cdot \sin(\nu_T^S), \quad x_S = x_T + d_{T-S} \cdot \cos(\nu_T^S) \quad (4)$$

### B. Določitev dolžine meta

Merimo horizontalno smer in dolžino do točke meta M:  $D_{TPS-M}, a_{TPS-M}$ .

$$\begin{aligned} b_{S-TPS} &= \sqrt{(y_{TPS} - y_S)^2 + (x_{TPS} - x_S)^2} \\ D_{S-M} &= \sqrt{b_{S-TPS}^2 + D_{TPS-M}^2 - 2b_{S-TPS} \cdot D_{TPS-M} \cos(a_{TPS-M} - a_{TPS-S})} \\ \text{rezultat} &= D_{S-M} - r \end{aligned} \quad (5)$$

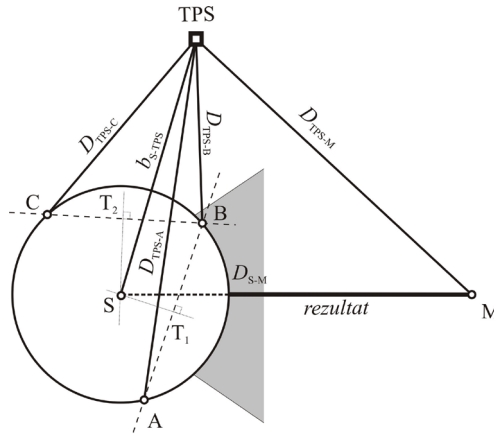
Rezultat lahko tudi enostavno izračunamo iz koordinat točke S in M ter odštejemo vrednost polmera  $r$ .

### 3.2 Met kladiva, diska in suvanje krogle

Postopek za izračun dolžine meta navedenih orodij je prav tako sestavljen iz dveh korakov.

#### A. Določitev središča metalnega kroga

Izhajamo iz izbranega položaja stojišča TPS ( $y_{TPS}, x_{TPS}$ ) in merjenih horizontalnih dolžin in smeri proti točkam A, B in C, na obodu metalnega kroga:  $D_{TPS-A}, a_{TPS-A}, D_{TPS-B}, a_{TPS-B}, D_{TPS-C}, a_{TPS-C}$  (slika 2).



Slika 2: Določitev dolžine pri metu kladiva, diska in suvanju krogle.

Najprej je potrebno izračunati koordinate točk A, B in C:

$$y_i = y_{TPS} + D_{TPS-i} \cdot \sin(a_{TPS-i}), \quad x_i = x_{TPS} + D_{TPS-i} \cdot \cos(a_{TPS-i}), \quad \text{kjer je } i = A, B, C. \quad (6)$$

Določimo točki  $T_1$  in  $T_2$  na sredini tetiv med točkami A, B in C (slika 2):

$$T_1 \left( \frac{y_A + y_B}{2}, \frac{x_A + x_B}{2} \right), \quad T_2 \left( \frac{y_B + y_C}{2}, \frac{x_B + x_C}{2} \right). \quad (7)$$

V nadaljevanju imamo dve možnosti. Nalogo lahko rešimo na geometrijski ali pa na geodetski način. V prvem primeru iščemo presečišče simetral tetiv AB in BC, v drugem pa uporabimo postopek zunanega ureza.

#### A.1 Geometrijska rešitev – presečišče simetral

Določimo premici AB in BC oblike  $y = kx + n$  oziroma samo njuna naklonska koeficienta:

$$k_{AB} = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}, \quad k_{BC} = \frac{y_C - y_B}{x_C - x_B}. \quad (8)$$

Simetrali tetiv AB in BC skozi točki  $T_1$  in  $T_2$  sta pravokotni, torej so njuni parametri znani:

$$\text{simetrala AB: } k_{s1} = -\frac{1}{k_{AB}}, \quad n_{s1} = y_{T1} - k_{s1} \cdot x_{T1}; \quad \text{simetrala BC: } k_{s2} = -\frac{1}{k_{BC}}, \quad n_{s2} = y_{T2} - k_{s2} \cdot x_{T2}. \quad (9)$$

Poiščemo še presečišče simetral:

$$x_S = \frac{n_{S2} - n_{S1}}{k_{S1} - k_{S2}} \quad (10)$$

$$y_S = k_{S1} \cdot x_S + n_{S1} = k_{S2} \cdot x_S + n_{S2}$$

#### A.2 Geodetska rešitev – zunanji urez

Izhajamo iz smernih kotov med znanimi točkami A, B in C. Iz znanih geometrijskih odnosov s slike 2 lahko zapišemo smerna kota od točk  $T_1$  in  $T_2$  proti iskani točki S:

$$\nu_{T_1}^S = \nu_A^B + 90^0; \quad \nu_{T_2}^S = \nu_B^C + 90^0. \quad (11)$$

Z znanim računskim postopkom zunanjega ureza lahko izračunamo koordinati točke S.

#### B. Določitev dolžine meta

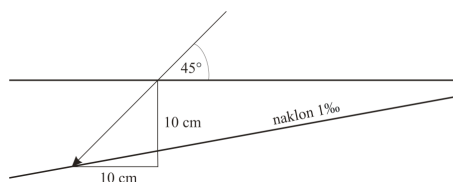
Izračun rezultata poteka enako kot pri metu kopja – enačbe (5).

## 4 VPLIVI NA DOLŽINO META IN NATANČNOST MERJENE DOLŽINE PRI METALNIH DISCIPLINAH

Vplive na merjeno dolžino je smiselno obravnavati samo pri daljših metih, torej pri metu kopja, kladiva in diska. Predpostavimo, da najdaljši met doseže vrednost do 100 metrov. Statistična analiza vplivov pogreškov na merjeno dolžino meta je podrobno predstavljena v Tsakiri et al. (2005). Vplive razdelimo v dve skupini: vplive okolja oziroma tekmovališča na dolžino meta ter vplive instrumentarija in merskega postopka na natančnost merjene dolžine.

### 4.1 Vplivi na dolžino meta

**Naklon površine, na kateri pristaja metalno orodje:** Po pravilih IAAF naklon travnate površine, na kateri pristaja metalno orodje, ne sme presegati 1 ‰. Pri dolžini meta 100 metrov s kotom leta orodja  $45^\circ$  bi pri naklonu površine 1 ‰ (slika 3) znašala vrednost izmerjene dolžine meta 100,10 metra. Razlika je kljub relativno majhnemu naklonu občutna. Naklon pristajalne površine ne vpliva na končni vrstni red tekmovalcev. Težava je primerljivost rezultatov na različnih tekmovališčih. Vpliv naklona se pri izmeri dolžine meta ne upošteva.



Slika 3: Vpliv naklona površine na rezultat pri dolžini meta približno 100 metrov.

**Vpliv težnosti na dolžino meta:** Met atletskega orodja je poševni met. Dolžina leta se izračuna po znani enačbi za poševni met:

$$d_{oseg} = \frac{v_0^2 \sin(2\alpha)}{g} \tag{12}$$

Iz enačbe izhaja, da je dolžina leta odvisna od izmetne hitrosti  $v_0$ , kota izmeta  $\alpha$  in težnostnega pospeška Zemlje  $g$ . Za čim boljši rezultat skuša metalec orodje vreči s čim večjo izmetno hitrostjo pod optimalnim kotom glede na pristajalno površino. Najdaljši met bo teoretično dosežen pri izmetnem kotu  $45^\circ$ . Vemo, da težnostni pospešek na površini Zemlje ni konstanten, ampak se spreminja v odvisnosti od geografske širine in nadmorske višine (Torge, 2001):

$$g = 9,780327 \cdot (1 + A \sin^2(\varphi) - B \sin^2(2\varphi)) - 3,086 \times 10^{-6} H, \tag{13}$$

kjer so:

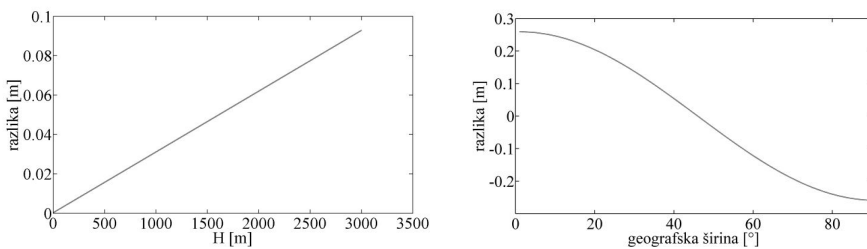
$A = 0,0053024$ ;  $B = 0,0000058$  – konstanti,

$\varphi$  – geografska širina,

$H$  – nadmorska višina.

Če obravnavamo rekordni met kopja, pri katerem metalec dosega izmetno hitrost  $31 \text{ m/s}$  (Strnad, 1985), se njegov športni dosežek lahko zelo razlikuje glede na to, kje na Zemlji je met izvedel. Tako bi na primer na Aljaski, v njenem glavnem mestu Anchorage z nadmorsko višino  $31$  metrov in težnostnim pospeškom  $g = 9,819 \text{ m/s}^2$ , dosegel met dolžine  $97,87$  metra. Ob enaki izmetni hitrosti pod optimalnim kotom pa bi bil njegov met v mestu Mexico City z nadmorsko višino približno  $2200$  metrov in težnostnim pospeškom  $g = 9,7795 \text{ m/s}^2$  dolg  $98,27$  metra. Orodje bi torej vrgel skoraj pol metra dlje.

Razčlenimo vpliv nadmorske višine in geografske širine podrobneje. Če posredni vpliv višine na dolžino meta ponazorimo grafično (slika 4), vidimo, da je centimeter spremembe dolžine meta dosežen pri približno  $500$  metrih razlike nadmorske višine med tekmovališčema. Za tekmovalca je torej bolje, da tekmuje na večji nadmorski višini.



Slika 4: Vpliv razlike nadmorske višine (levo) in geografske širine (desno) tekmovališč na razliko v dolžini meta.

Iz izraza 13 vidimo, da se težnostni pospešek spreminja tudi z geografsko širino. Skupni pospešek je na ekvatorju zaradi večje obodne hitrosti, in s tem centrifugalne sile, ter večjega polmera Zemlje manjši. Proti polu je pospešek večji, torej so tudi meti krajši. Težnost precej vpliva na dolžino meta športnika. Ugotovimo lahko, da bi bilo za doseganje rekordov »idealno« tekmovališče nekje na ekvatorju na čim večji nadmorski višini.



## 4.2 Vplivi na natančnost merjene dolžine meta

**Centriranje instrumenta:** Pogrešek centriranja instrumenta znaša od 1 mm do 2 mm, vendar ne vpliva na vrednost meritve dolžine meta, če pred vsako izmero instrument prisilno centriramo in izhajamo iz koordinat njegovega geometrijskega centra.

**Določitev središča metalne steze in središča metalnega kroga:** Središče metalnega kroga je določeno že pred izvedbo tekmovanj (med gradnjo tekmovališča). Točko središča preverijo pooblaščeni kontrolorji mednarodne atletske zveze ali nacionalnega organa, je trajno označena in jo privzamemo kot absolutno točno. Smiselno je obravnavati vpliv centriranja signala na točki središča za izmero dolžine  $b_{S-TPS}$ . Pogrešek centriranja lahko (zelo optimistično) ocenimo na 1 mm ob uporabi grezila z reflektorjem na spodnjem delu grezila.

**Signalizacija točke pristanka metalnega orodja:** Težava se pojavi predvsem pri metu kopja. Orodje namreč ne leti enakomerno, ampak med letom vibrira. Zato lahko pred dejanskim pristankom zaradi nihanja navzdol oplazi površino. Razlika do točke pravega pristanka je lahko tudi nekaj centimetrov. Izbira lokacije je subjektivna in odvisna od sodnika. Geodet merilec nanjo ne more vplivati.

**Sistematični pogreški:** Sistematični pogreški so določeni s primerjavo merjenih dolžin z dolžinami, izmerjenimi s preizkušenim merskim trakom. Ker je pogrešek pri merjenju s trakom v najboljšem primeru ocenjen na 1/2500, znaša pri dolžini 100 metrov približno 4 milimetre (Tsakiri et al., 2005). Torej vsi sistematični pogreški, manjši od te vrednosti, ne bodo zajeti.

**Oblika mreže:** Oblika mreže oziroma mesto postavitve merskega instrumenta je pomembna. Vprašanje je podrobneje opisano v poglavju 4.4.

## 4.3 Ocena zahtevane natančnosti merjenja horizontalnih smeri

IAAF predpisuje natančnost instrumenta, s katerim merimo dolžino, ne opredeli pa, kako natančno moramo izmeriti smeri oziroma kote, če uporabimo elektronski tahimeter. Kot geodete nas to še kako zanima. Ne moremo si namreč privoščiti neuskajene natančnosti meritev, ki jih opravimo. Pri izračunu zahtevane natančnosti merjenja horizontalnega kota glede na zahtevano natančnost določitve dolžine meta izhajamo iz izraza za izračun dolžine meta:

$$D_{S-M} = \sqrt{b_{S-TPS}^2 + D_{TPS-M}^2 - 2b_{S-TPS} \cdot D_{TPS-M} \cos(a_{TPS-M} - a_{TPS-S})} \quad (14)$$

$$D_{S-M} = f(b_{S-TPS}, D_{TPS-M}, \alpha_{M-S})$$

kjer je:

$\alpha_{M-S} = a_{TPS-M} - a_{TPS-S}$  – kot med točko M in S.

Natančnost računamo na podlagi zakona o prenosu varianc in kovarianc za dolžino meta  $D_{S-M}$ :

$$\sigma_{D_{S-M}}^2 = \left( \frac{\partial f}{\partial b_{S-TPS}} \right)^2 \sigma_{b_{S-TPS}}^2 + \left( \frac{\partial f}{\partial D_{TPS-M}} \right)^2 \sigma_{D_{TPS-M}}^2 + \left( \frac{\partial f}{\partial \alpha_{M-S}} \right)^2 \sigma_{\alpha_{M-S}}^2 \quad (15)$$

Iz izraza enostavno izrazimo standardni odklon kota med središčem metalnega kroga in točko meta:

$$\sigma_{\alpha_{M-S}} = \sqrt{\frac{\sigma_{D_{S-M}}^2 - \left(\frac{\partial f}{\partial b_{S-TPS}}\right)^2 \sigma_{b_{S-TPS}}^2 - \left(\frac{\partial f}{\partial D_{TPS-M}}\right)^2 \sigma_{D_{TPS-M}}^2}{\left(\frac{\partial f}{\partial \alpha_{M-S}}\right)^2}} \quad (16)$$

Ob zahtevi po določitvi dolžine meta na primer s 5-milimetrsko natančnostjo in ob predpostavki, da imamo instrument, ki omogoča merjenje dolžin z 2-milimetrsko natančnostjo, ter doseženih dolžinah meta približno 100 metrov lahko izračunamo zahtevano natančnost merjenja horizontalne smeri.

$$\sigma_{b_{S-TPS}} \approx 2 \text{ mm}, \sigma_{D_{TPS-M}} \approx 2 \text{ mm}, \sigma_{D_{S-M}} \approx 5 \text{ mm}$$

$$D_{S-M} \approx 100 \text{ m}, D_{TPS-M} \approx 100 \text{ m}, b_{S-TPS} \approx 30 \text{ m}$$

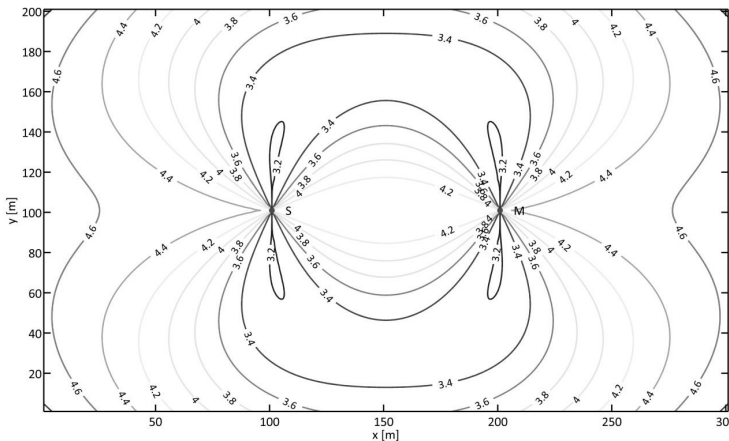
$$\sigma_{\alpha_{S-M}} \approx 32'' \rightarrow \sigma_{\alpha_M} = \sigma_{\alpha_S} = \sqrt{\frac{\sigma_{\alpha_{S-M}}^2}{2}} \approx 23''$$

Iz rezultatov vidimo, da je za dosego petmilimetrske natančnosti merjene dolžine zahtevana natančnost merjenja horizontalnih smeri več kot 20". Ta pogoj izpolnjuje skoraj vsak običajen elektronski tahimeter.

#### 4.4 Izbira optimalnega stojišča instrumenta za merjenje dolžine meta

Zanima nas, ali izbira mesta postavitve stojišča instrumenta za merjenje dolžine meta vpliva na natančnost določitve dolžine meta. Kje je najprimerneje postaviti instrument, da bo omogočena čim višja natančnost izmere dolžine meta? Izhajamo iz slike 1 in enačbe za izračun dolžine meta (5). Optimizacijo geometrije mreže oziroma trikotnika S-TPS-M (slika 1) izvedemo empirično. Simuliramo različne postavitve stojišča in računamo natančnost določitve dolžine meta.

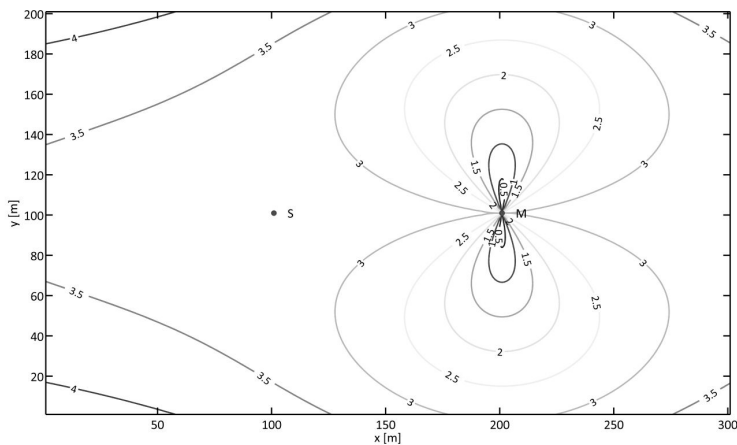
Analizirajmo dva položaja: primera 1 in 2. V prvem primeru (slika 5) nas zanima vpliv mesta postavitve stojišča instrumenta na natančnost določitve dolžine meta  $D_{S-M}$ , kadar obe dolžini proti središču metalnega kroga (S) –  $b_{S-TPS}$  in proti točki meta (M) –  $D_{TPS-M}$  obravnavamo kot merjeni. Predpostavimo, da dolžini izmerimo z natančnostjo 3 mm (+ 2 ppm) in kot z natančnostjo 6".



Slika 5: Natančnost določitve dolžine meta [mm] v odvisnosti od postavitve stojišča TPS – primer 1.

S slike 5 je razvidno, da je najprimernejše mesto za postavitev instrumenta čim bližje točki središča metalnega kroga S oziroma čim bližje točki pristanka metalnega orodja M. Ker postavitev instrumenta na točko S ali v bližino M fizično ni mogoča, je najprimerneje, da se odmaknemo z instrumentom pravokotno na zveznico med točkama S in M v bližini točke S.

V drugem primeru (slika 6) analiziramo vpliv mesta postavitve instrumenta na natančnost določitve dolžine meta, če predpostavimo, da baza  $b_{S-TPS}$  v izračunih nastopa kot dana vrednost oziroma je njena natančnost nekajkrat višja od natančnosti merjene dolžine  $D_{TPS-M}$ . Ta predpostavka je smiselna, ker dolžino  $b_{S-TPS}$  določimo pred tekmovanjem v več ponovitvah in jo lahko primerjamo z etalonom.



Slika 6: Natančnost merjene dolžine meta [mm] v odvisnosti od postavitve stojšča TPS – primer 2.

V tem primeru (slika 6) mesto postavitve instrumenta spet lahko poljubno izbiramo, vendar je teoretično pričakovano najprimernejša postavitev v bližini točke meta orodja. Kotna meritev v tem primeru prevlada nad dolžinsko. Če dolžino do reflektorja na točki pristanka orodja merimo pravokotno na smer meta, merjena dolžina  $D_{TPS-M}$  na natančnost vpliva minimalno. Glavno vlogo ima v tem primeru seveda dolžinska meritev baze  $b_{S-TPS}$ , za katero pa smo predpostavili, da je točna.

## 5 SKLEP

Rezultat pri metu diska, kladiva in kopja ter suvanju krogle je izmerjena dolžina od točke začetka meta do točke pristanka metalnega orodja. Pri metalnih disciplinah z daljšimi meti se dolžina določi z geodetskim merskim orodjem in geodetskimi računskimi postopki. Dolžina meta se računa na podlagi geodetskih merskih količin – kotov in dolžin. Izračunana dolžina meta mora ustrezati zahtevam, ki jih predpisuje mednarodna atletska zveza IAAF. Rezultat je določen z ustrezno stopnjo točnosti in natančnosti ter mora biti primerljiv tako z rezultati drugih atletov na posameznem tekmovanju kot z rezultati na različnih tekmovališčih.

Analizirali smo primerljivost rezultatov metov glede na geografsko širino in nadmorsko višino tekmovališča. Iz rezultatov vidimo, da je za doseganje rekordov pomembno, kje stoji tekmovališče – najboljše čim bližje ekvatorju in na čim višji nadmorski višini. V članku smo analizirali tudi nekatere druge vplive na merjeno dolžino meta. Ugotovili smo, da glede na zahtevo po nekajmilimetrski natančnosti računanih

dolžin meta ni treba zagotoviti visoke natančnosti merjenja kotov. To pomeni, da nam ni treba nujno imeti preciznih tahimetrov. Poleg tega postavitev geodetskega merskega instrumenta v skladu s pravili IAAF ni poljubna. Lokacija stojišča mora biti taka, da ne moti poteka tekmovanja. Z vidika natančnosti rezultata smo ugotovili, da je najprimernejša lokacija stojišča instrumenta čim bližje metalnemu krogu oziroma je pravokotni odmik glede na smer meta čim manjši.

Geodetske meritve imajo pomen tudi v športu. Atlet vloži veliko truda, da bi dosegel čim boljši rezultat, ki pri metu kopja, kladiva in diska ter suvanju krogle pomeni dolžino meta. Ves trud atleta pa bi bil razvrednoten z napačno izmerjeno dolžino meta. Geodet lahko s primernim instrumentarijem ter poznavanjem ustreznih merskih in računskih postopkov zagotovi dovolj kakovosten podatek o dolžini meta, ki je primerljiv z dolžinami metov drugih atletov in pomeni rezultat atleta.

## Literatura in viri

- IAAF (2010). IAAF Calibration and Testing Manual.
- IAAF (2011). Competition rules 2012–2013. <http://www.iaaf.org/about-iaaf/documents/technical#rules-regulations>, pridobljeno 20. 12. 2013.
- Leica Geosystems (2005). Athletics Measurement, On-Board application program for TPS-Systems 1200. <http://www.leica-geosystems.com>, pridobljeno 1. 12. 2013.
- Strnad, J. (1985). Meti. *Presek*, 13(2), 86–91. Pridobljeno 1. 12. 2013 s spletne strani: <http://www.presek.si/13/13-2-Strnad.pdf>, pridobljeno 1. 12. 2013.
- Torge, W. (2001). *Geodesy* (str. 117). Berlin & New York: Walter de Gruyter.
- Tsakiri, M., Stewart, M. P., Snow, A., Karabelas, J. (2005). On the quality of distance measurements in athletic throwing events, *Survey Review*, 38(296), 100–116. DOI 10.1179/003962605791482206
- Tuno, N., Mulahusić, A., Kogoj, D. (2012). Od Reg Elta do Spatial Station: Štiri desetletja elektronskih tahimetrov Zeiss (Trimble). *Geodetski vestnik*, 56(3), 415–426.

Marjetič A., Kregar K., Kogoj D. (2014). Geodetsko merjenje dolžin v atletiki. *Geodetski vestnik*, 58 (2): 243–253.

---

asist. dr. Aleš Marjetič, univ. dipl. inž. geod., asist. Klemen Kregar, univ. dipl. inž. geod., izr. prof. dr. Dušan Kogoj, univ. dipl. inž. geod.  
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo  
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana  
e-naslov: ales.marjetic@fgg.uni-lj.si, klemen.kregar@fgg.uni-lj.si, dusan.kogoj@fgg.uni-lj.si