

# DOLOČITEV OSEŃENOSTI DOLVODNE POVRŠINE BETONSKE PREGRADE MOSTE

# DETERMINATION OF THE SHADING OF THE DOWNSTREAM SURFACE OF THE MOSTE CONCRETE DAM

*Pavel Źvanut, Rok Vezočnik, Goran Turk, Tomaž Ambrožič*

UDK: 627.82.05: 621.8.035  
Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.01  
Prispelo: 30.6.2014  
Sprejeto: 29.8.2014

DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2014.03.453-465  
SCIENTIFIC ARTICLE  
Received: 30.6.2014  
Accepted: 29.8.2014

## IZVLEČEK

V prispevku je obravnavana nova metoda za določitev osončenosti površin, in sicer na podlagi meritev s terestričnim laserskim skenerjem ter z izdelanima računalniškima programoma, ki za izbrano opazovalno točko določita obris terena ter položaj Sonca in osončenost v času. Metoda je predstavljena na primeru pregrade Moste, za katero so bili po skeniranju območja pregrade izdelani obrisi terena iz desetih opazovalnih točk, lociranih v osi dolvodne površine pregrade, za azimute od 80° do 280° pri izbranem horizontalnem kotu in koraku 5°. Za izločitev posameznih grobo pogrešenih točk sta bila izbrana kvantilna ranga 0,998 oziroma 0,997. Iz primerjave rezultatov izračunov med uporabljenima variantama je razvidno, da so zelo podobni, kar kaže, da je število grobo pogrešenih točk zelo majhno. Zelo zanesljive rezultate dobimo že z uporabo kvantilnega ranga 0,998. Iz primerjave rezultatov meritev in izračunov osončenosti na lokaciji mobilne samodejne vremenske postaje Moste v obravnavanem obdobju sedmih zaporednih jasnih dni v začetku avgusta 2013 pa je bilo ugotovljeno, da se zelo dobro ujemajo, kar potrjuje, da je opisana metoda določitve osončenosti zelo zanesljiva.

## KLJUČNE BESEDE

terestrični laserski skener, betonska pregrada, Moste, obris terena, osončenost

## ABSTRACT

This paper deals with a new method for determining the shading of surfaces by means of terrestrial laser scanner measurements and two specially designed computer programs, which, for any selected observation point, can determine the contour of the terrain, the position of the sun, and insolation over time. The method was applied to the Moste dam, where, after scanning of the area of the dam, the contours of the terrain were determined from ten observation points located along the axis of the dam's downstream surface, for azimuths of 80° to 280° at a selected horizontal angle and step of 5°. In order to exclude stray points, quantiles of 0.998 and 0.997 were selected. The results of calculations made using the two applied variants were very similar, thus indicating a minuscule number of stray points. Very reliable results were already obtained when using the quantile of 0.998. The results of the measurements and the calculations of shading at the Moste mobile automatic weather station, over a period of seven consecutive clear days in early August 2013, showed very good agreement, confirming that the described method for determining of shading is highly reliable.

## KEY WORDS

terrestrial laser scanner, concrete dam, Moste, terrain contour, shading

## 1 UVOD

V zadnjem času se močno uveljavljajo toplotne analize različnih inženirskih konstrukcij, med katere spadajo tudi betonske pregrade. Pri toplotnih analizah je treba reševati nelinearne in nestacionarne enačbe prevajanja toplote, in sicer pri ustreznih robnih pogojih, pri čemer je treba upoštevati konvekcijo, radiacijo in insolacijo (Carslaw in Jaeger, 1986). Ker slednja močno vpliva na neenakomerno temperaturno polje na dolvodni površini pregrade, ki povzroča pojavljanje razpok, je treba pri insolaciji upoštevati tudi vpliv osenčenosti zaradi okoliškega terena oziroma same pregrade.

Nekateri avtorji (Agullo et al., 1996; Sheibany in Ghaemian, 2006; Labibzadeh et al., 2010) pri obravnavanju neenakomernega temperaturnega polja na dolvodni površini pregrade učinka osenčenosti pri insolaciji sploh niso upoštevali. Drugi raziskovalci (Léger et al., 1993a, 1993b; Noorzai et al., 2006; Léger in Seydou, 2009) so obravnavali vpliv osenčenosti zaradi okoliškega terena na podlagi tako imenovanega terenskega faktorja, ki je izražen kot splošno razmerje med dejansko in teoretično izpostavljenostjo sončnemu sevanju celotne pregrade, kar pa je zelo nenatančno in torej glavna slabost teh raziskav. Še najboljše so doslej obravnavali učinek osenčenosti na površini pregrade raziskovalci Jin et al. (2010), ki so pripravili algoritem za izračun osenčenosti, vendar so zelo nenatančno upoštevali topologijo okoliškega terena ob pregradi.

Glavni namen članka je predlagati novo metodo za določitev osenčenosti, in sicer z meritvami okoliškega terena in same pregrade s terestričnim laserskim skenerjem ter z izdelanima računalniškima programoma v programskih okoljih Mathematica in Matlab, ki iz uvoženega oblaka točk, dobljenih s skenerjem, za izbrano opazovalno točko izračunata višinske kote terena pri različnih azimutih in določita obris terena. Iz izračunanega položaja Sonca nato ugotovimo osenčenost oziroma osončenost izbrane točke v časovnem trenutku. Predlagana metoda za določitev osenčenosti površine je predstavljena na primeru dolvodne površine pregrade Moste, kjer je bila prvič praktično in tudi uspešno uporabljena.

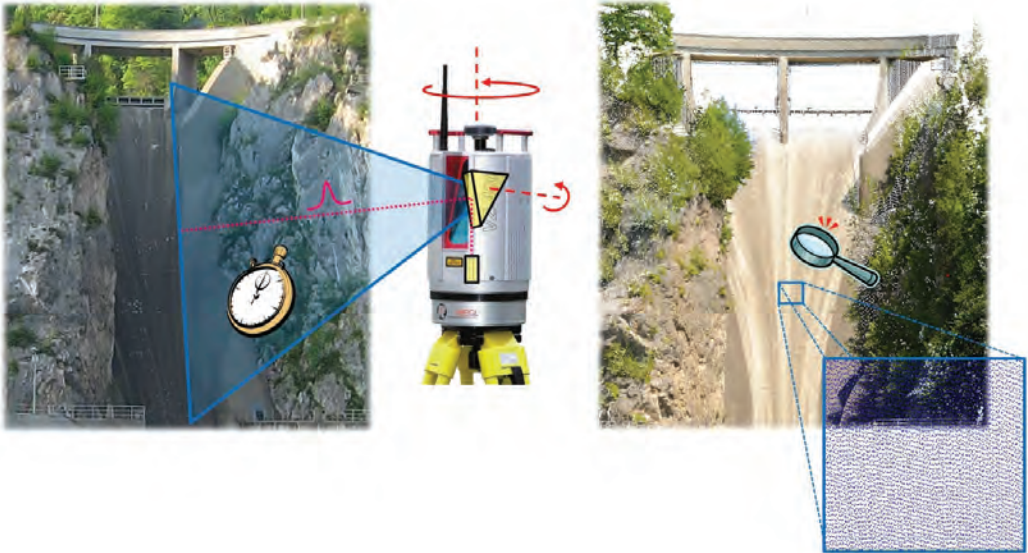
## 2 METODE DELA

### 2.1 Terestrično lasersko skeniranje

Terestrično lasersko skeniranje (v nadaljevanju: TLS) je brezkontaktna merska metoda, ki omogoča neposredno trirazsežno določitev položajev točk v vidnem območju instrumenta – skenerja (Vežočanik, 2011). Položaj posamezne točke v koordinatnem sistemu instrumenta enolično določata dva prostorska kota in evklidska dolžina, ki jo izmerimo na fazni oziroma impulzni način (Kogoj, 2005). Kotni korak med sosednjima točkama določa prostorsko ločljivost rezultata skeniranja – oblaka točk. Ta korak je tako v vertikalni kot v horizontalni smeri lahko zelo majhen, kar zagotavlja veliko gostoto točk na posameznem stojišču (več milijonov). Zaradi velike stopnje digitalizacije lahko z metodo TLS dobimo natančen, metričen posnetek prostora v izbranem časovnem trenutku. Na sliki 1 je prikazan osnovni merilni princip impulznih laserskih skenerjev. Instrumenti se po osnovnih tehničnih značilnostih sicer razlikujejo, večino novejših modelov pa poleg naštetega odlikuje tudi velika hitrost merskega procesa.

Točke skeniranega objekta oziroma scene, zajete na posameznem stojišču, je treba georeferencirati (transformirati iz koordinatnega sistema instrumenta v državni koordinatni sistem). Za natančno izvedbo

transformacije se uporabljajo precizne merske tarče, ki so lahko zelo različnih oblik (Reshetyuk, 2009; Urbančič et al., 2014). Oblika pogojuje tudi postopek izračuna karakteristične točke – centra tarče.



Slika 1: Princip izmere impulznih skenerjev in gostota točk v oblaku (foto: R. Vežočnik).

Če se omejimo na ploske tarče proizvajalca Leica Geosystems, ki so bile uporabljene na izbranem testnem območju pregrade Moste, lahko položaje centrov izračunamo na podlagi postopka, podrobno opisane v Vežočnik (2011). Po njem položaj centralne točke v ravnini tarče izračunamo s spodnjo enačbo:

$$f(x_p, y_p) = A = \frac{1}{1 + \left( a \cdot \sqrt{(x_p - x_0)^2 + (y_p - y_0)^2} \right)^b}, \tag{1}$$

kjer je  $A$  = amplituda odboja;  $x_p, y_p$  = koordinati točke v ravnini tarče;  $x_0, y_0$  = ocenjeni vrednosti koordinat položaja centra v ravnini tarče;  $a, b$  = parametra modelne funkcije, ki opisuje obliko tarče.

Za določitev in oceno transformacijskih parametrov za posamezno stojišče skenerja lahko uporabimo algoritma, predstavljena v Horn (1987) ali Horn et al. (1988). Prvi temelji na uporabi kvaternionov, drugi pa na uporabi ortonormiranih matrik. Poleg ocenjenih vrednosti koordinat centrov tarč na posameznem stojišču iz meritev TLS v obeh primerih potrebujemo še položaje teh točk v ciljnem (državnem) koordinatnem sistemu. Oba algoritma omogočata izračun ocenjenih vrednosti transformacijskih parametrov (matrike rotacije  $R$ , vektorja translacije  $t$  in merila  $s$ ) brez poznavanja približnih vrednosti, pri čemer se minimizira vsota kvadratov koordinatnih odstopanj:

$$\sum_{i=1}^n \|v_i\|^2 = \sum_{i=1}^n \|Y_i - sR(X_i) - t\|^2, \tag{2}$$

kjer sta  $X_i$  in  $Y_i$  iz  $R^3$  množice oslonilnih točk v koordinatnem sistemu instrumenta in državnem koordinatnem sistemu.

## 2.2 Izračun horizontalnih in vertikalnih kotov za določitev osenčenosti

### 2.2.1 Obris terena

Obris terena določimo tako, da izračunamo horizontalne in vertikalne kote med izbrano opazovalno točko na pregradi in drugimi uvoženimi točkami iz oblaka točk. Izračun kotov izvedemo s skalarnim produktom dveh vektorjev.

Najprej v horizontalni ravnini izračunamo azimute, in sicer med enotskim vektorjem  $\mathbf{A} = \{0, 1\}$ , usmerjenim proti severu, in projekcijo vektorja  $\mathbf{B}$  na horizontalno ravnino  $\mathbf{B}_H = \{y_1 - y_0, x_1 - x_0\}$ , usmerjeno v katerokoli smer. Nato v trirazsežnem prostoru izračunamo višinske kote, in sicer med projekcijo vektorja  $\mathbf{B}$  na horizontalno ravnino  $\mathbf{B}_H = \{y_1 - y_0, x_1 - x_0, 0\}$  in vektorjem  $\mathbf{B} = \{y_1 - y_0, x_1 - x_0, H_1 - H_0\}$ , pri pogoju  $H_1 > H_0$ , kjer so  $T_0 = \{y_0, x_0, H_0\}$  koordinate izbrane opazovalne točke na pregradi;  $T_1 = \{y_1, x_1, H_1\}$  koordinate točke na okoliškem terenu ali na pregradi. Obris terena iz izbrane opazovalne točke na pregradi določajo največji višinski koti pri posameznih azimutih. Žagastemu obrisu terena za izločitev posameznih grobo pogrešenih točk se izognemo z uporabo ustrezne vrednosti kvantilnega ranga.

### 2.2.2 Položaj Sonca

Za nadaljnje izračune moramo izračunati položaj Sonca, ki ga določata višinski kot in azimut Sonca. Višinski kot Sonca  $\beta_s$  izračunamo z naslednjo enačbo (Kilar, 1978):

$$\sin \beta_s = \cos \delta_s \cos \tau_s \cos \Phi + \sin \delta_s \sin \Phi, \quad (3)$$

kjer je  $\delta_s$  = deklinacija Sonca;  $\Phi$  = geografska širina;  $\tau_s$  = časovni kot, ki je definiran z:

$$\tau_s = (12 - u) 15^\circ, \quad (4)$$

kjer je  $u$  = trenutek dneva v 24-urnem zapisu (1 ura predstavlja kot  $15^\circ$ ).

Deklinacijo izračunamo z izrazom (Cooper, 1969):

$$\delta_s = 23,45 \sin (360 (d - 81) / 365), \quad (5)$$

kjer je  $d$  = zaporedni dan v letu.

Azimut Sonca  $\alpha_s$  opredeljuje, v kateri smeri je Sonce, in je izražen z naslednjim izrazom (Kilar, 1978):

$$\cos \alpha_s = (\sin \delta_s - \sin \beta_s \sin \Phi) / (\cos \beta_s \cos \Phi), \quad (6a)$$

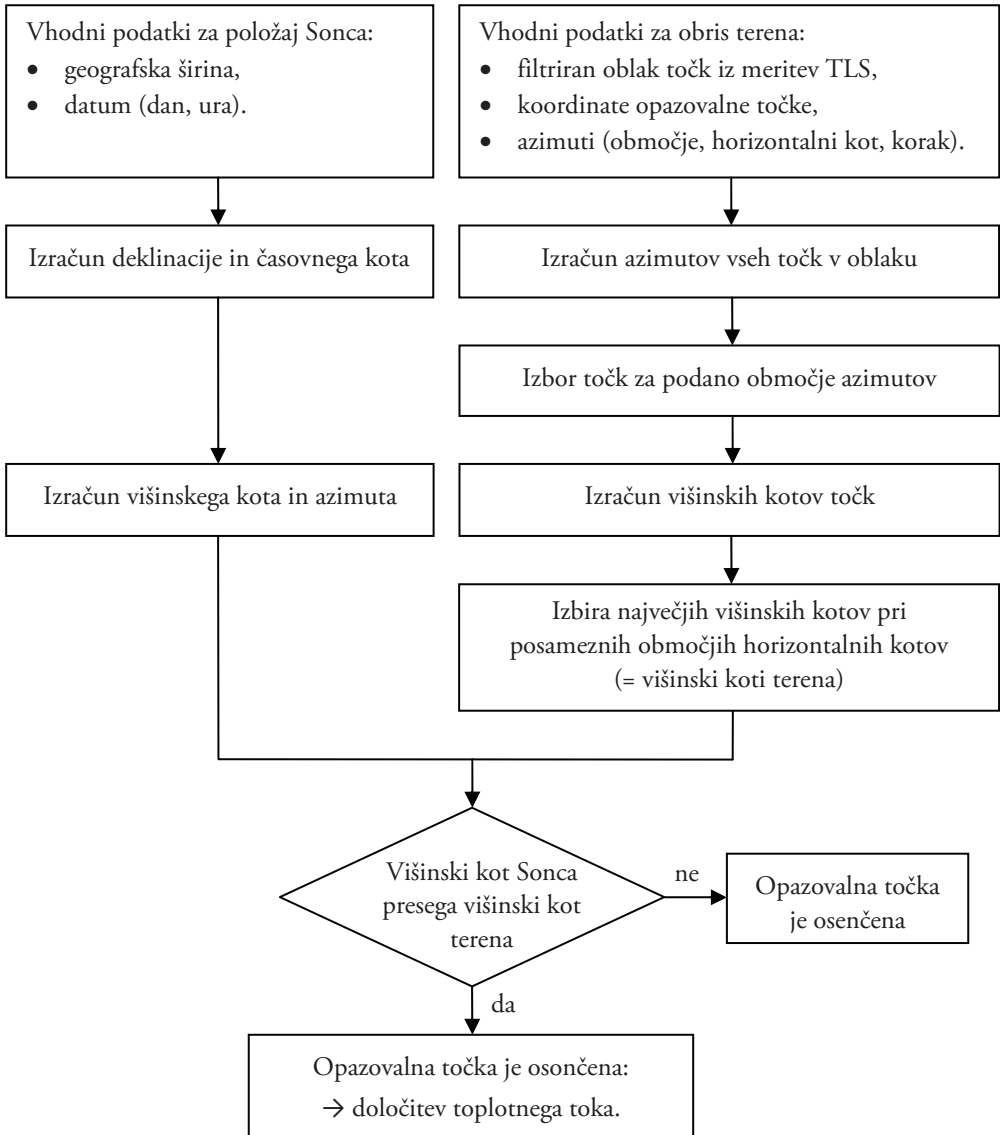
$$\text{če } \tau_s > 0 \text{ (} u < 12, \text{ dopoldne)} \rightarrow \alpha_s < 180^\circ, \quad (6b)$$

$$\text{če } \tau_s < 0 \text{ (} u > 12, \text{ popoldne)} \rightarrow \alpha_s > 180^\circ. \quad (6c)$$

### 2.2.3 Osenčenost

V zadnjem koraku za posamezne opazovalne točke na pregradi primerjamo izračunane obrise okoliškega terena oziroma pregrade s položajem Sonca, torej primerjamo največje višinske kote terena z višinskimi koti Sonca pri določenem azimutu in času. S tem ugotovimo osenčenost oziroma osončenost izbrane

opazovalne točke. Za določitev toplotnega toka v primeru osončenosti potrebujemo naslednje vhodne podatke: višinski kot in azimut Sonca, nagnjenost ploskve glede na Zemljino površino, azimut ploskve, nadmorsko višino, faktor onesnaženja in absorptivnost. Iz vhodnih podatkov najprej izračunamo vpadni kot Sonca na ploskev ter določimo dva faktorja (faktor nadmorske višine in faktor vpliva relativne dolžine poti, ki jo mora prepotovati sevanje), nato pa izračunamo toplotni tok (Dilger et al., 1983). Postopek določitve osončenosti izbrane opazovalne točke je podan na sliki 2. Obris terena, položaj Sonca in osončenost opazovalne točke izračunamo s programoma, izdelanima v programskih okoljih Mathematica (Wolfram Mathematica, 2014) in Matlab (Matlab, 2014).



Slika 2: Algoritem za določitev osončenosti izbrane opazovalne točke.

### 3 PRIMER UPORABE PRI PREGRADI MOSTE

#### 3.1 Osnovni podatki o pregradi

Betonska pregrada Moste leži na Savi Dolinki, v najožjem delu soteske Kavčke v bližini Most pri Žirovnici, in je s skoraj 60 metri konstruktivne višine najvišja pregrada v Sloveniji. Postavljena je bila pred več kot šestimi desetletji med gradnjo hidroelektrarne (HE) Moste, ki je najstarejša HE na reki Savi v Sloveniji (SEL, 2014; SLOCOLD, 2014). Glavne značilnosti pregrade so podane v preglednici 1, pogled nanjo z dolvodne strani, kjer je razvidna njena lega v ozkem kanjonu, pa je predstavljen na sliki 3.

Preglednica 1: Glavne značilnosti pregrade Moste (SEL, 2014; SLOCOLD, 2014)

Značilnost	Vrednost
Vrsta pregrade	betonska ločno-težnostna
Leto izgradnje	1952
Konstruktivna višina [m]	59,80
Dolžina krone [m]	72,00
Prostornina [m <sup>3</sup> ]	42.000
Kota prelivanja (zapornice) [m]	524,75
Kota prelivanja (beton) [m]	523,50
Običajna kota vode [m]	522–524
Prostornina akumulacije [m <sup>3</sup> ]	6.240.000
Površina akumulacije [m <sup>2</sup> ]	620.000
Dolžina akumulacije [km]	5,00
Prispevna površina [km <sup>2</sup> ]	325
Geografska širina [°]	46,41
Azimet dolvodne površine [°]	186



Slika 3: Pogled na pregrado Moste z dolvodne strani (foto: P. Žvanut).

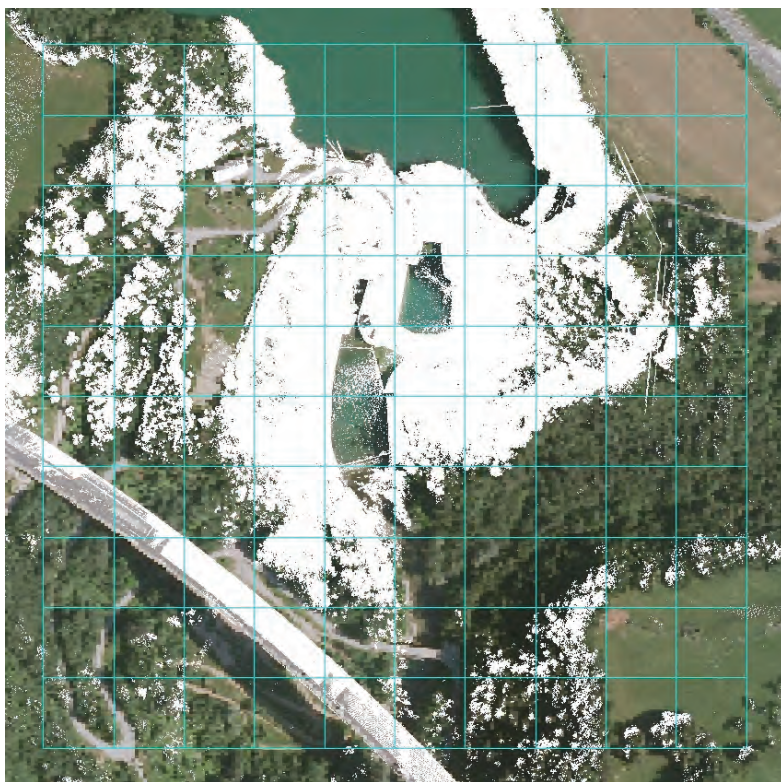
### 3.2 Izmera območja pregrade

Območje, na katerem stoji pregrada Moste, je bilo skenirano s sedmih stojišč, ki so prikazana na sliki 4.



Slika 4: Prikaz stojišč skenerja na območju pregrade (Geopedia, 2014).

Izmero TLS smo opravili s skenerjem Riegl VZ-400 (Riegl, 2014), in sicer na vsakem stojišču z ločljivostjo 1 x 1 centimeter na dolžini 50 metrov. Za lažjo interpretacijo vsebine oblakov so bile posamezne točke obarvane glede na vrednosti RGB s fotografij, posnetih s fotoaparatom Nikon D700, ki je bil pritrjen na poseben adapter nad instrumentom. Georeferenciranje oblakov točk je bilo torej izvedeno na podlagi preciznih Leicinih retroreflektivnih tarč in korakov, predstavljenih v poglavju 2.1 (ločljivost skeniranja tarč je znašala 1 x 1 milimeter na izbrani razdalji). Za potrebe georeferenciranja so bili položaji centrov tarč predhodno določeni tudi v državnem koordinatnem sistemu s precizno klasično terestrično izmero. A posteriori standardne deviacije odstopanj koordinat oslonilnih točk po transformaciji so bile na vseh stojiščih instrumenta manjše od 5 milimetrov. Končni rezultat izmere TLS – georeferencirani oblak točk – je vseboval približno 50 milijonov točk. Po georeferenciranju smo za nadaljnje izračune osenčenosti pregrade morali iz celotnega oblaka točk, prikazanega na sliki 5, določiti samo najvišje ležeče. Te namreč določajo obris terena skeniranega območja, ki smo ga uporabili za izračun višinskega kota iz posamezne opazovalne točke.



Slika 5: Tlorisni pogled na celoten oblak točk in pravilna mreža za določitev najvišje ležečih točk (dimenzije mreže so shematske).

Izbor najvišje ležečih točk v celotnem oblaku je bil izveden samodejno na podlagi pravilne mreže z osnovno celico dimenzije 0,5 metra (slika 5). Postopek je bil izveden z enostavnim filtrom, ki v vsaki celici pravilne mreže poišče točko z največjo nadmorsko višino. Po filtriranju je bilo število točk za uvoz v programsko okolje Mathematica, v katerem smo izračunali obrise terena, zmanjšano na približno 225.000.

### 3.3 Osenčenost podanih točk na dolvodni površini pregrade

Obris terena iz izbrane opazovalne točke na dolvodni površini pregrade Moste je bil določen za azimute v območju od  $80^\circ$  do  $280^\circ$ , pri izbranem horizontalnem kotu in koraku  $5^\circ$ . Izračun višinskih kotov terena je bil izveden za deset opazovalnih točk, lociranih v osi dolvodne površine pregrade Moste (glej sliko 6 in preglednico 2). Izločitev posameznih grobo pogrešenih točk je bila izvedena s kvantilnima rangoma 0,998 oziroma 0,997.

Glede na položaj Sonca v času, ki je bil izračunan za geografsko širino  $46,41^\circ$ , kjer leži pregrada Moste, je bila nato v programskem okolju Matlab, v katerega smo uvozili izračunane obrise terena, določena osenčenost oziroma osončenost posamezne opazovalne točke v času.



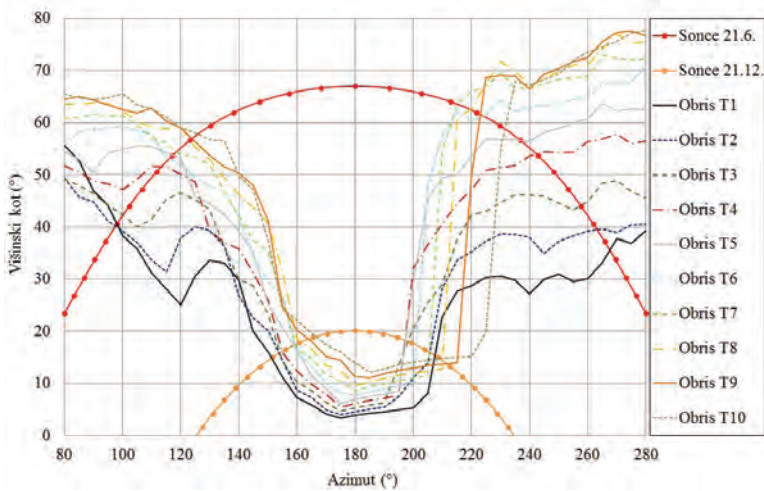


Slika 6: Lokacija vremenske postaje (MAVP) in opazovalnih točk v osi dolvodne površine pregrade Moste.

Preglednica 2: Koordinate opazovalnih točk na pregradi od T1 do T10

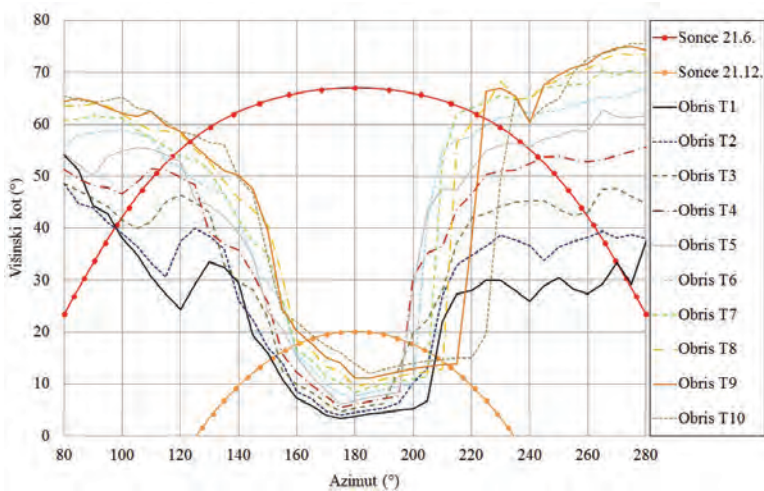
Opazovalna točka	Koordinate (m)		
	Y	X	H
T1	433.209,246	141.113,750	520,345
T2	433.208,740	141.110,250	516,636
T3	433.208,721	141.106,750	512,556
T4	433.208,249	141.103,250	508,491
T5	433.208,225	141.100,250	504,990
T6	433.207,720	141.096,750	500,918
T7	433.207,234	141.093,250	496,785
T8	433.207,234	141.089,750	492,713
T9	433.206,748	141.086,750	489,188
T10	433.206,201	141.083,250	485,298

Na slikah 7 in 8 je razvidna osenčenost desetih opazovalnih točk, lociranih v osi dolvodne površine pregrade Moste, pri uporabi kvantilnih rangov 0,998 oziroma 0,997 za določitev obrisov terena, ter pri obeh skrajnih legah Sonca v letu (poletni in zimski solsticij).



Slika 7: Obris terena iz desetih opazovalnih točk, lociranih v osi dolvodne površine pregrade Moste, pri uporabi kvantilnega ranga 0,998, in virtualni položaji Sonca pri obeh skrajnih legah v letu (poletni in zimski solsticij).

Iz obrisov terena na sliki 7, kjer je uporabljen kvantilni rang 0,998, je razvidno, da so višinski koti pri azimutu  $80^\circ$  v območju od  $49,2^\circ$  do  $65,6^\circ$ , pri azimutu  $180^\circ$  v območju od  $3,9^\circ$  do  $14,0^\circ$ , pri azimutu  $280^\circ$  pa znašajo od  $39,4^\circ$  do  $77,7^\circ$ . Iz obrisov terena na sliki 8, kjer je uporabljen kvantilni rang 0,997, pa je razvidno, da so višinski koti pri azimutu  $80^\circ$  v območju od  $48,6^\circ$  do  $65,5^\circ$ , pri azimutu  $180^\circ$  v območju od  $3,8^\circ$  do  $13,9^\circ$ , pri azimutu  $280^\circ$  pa znašajo od  $37,6^\circ$  do  $75,5^\circ$ .



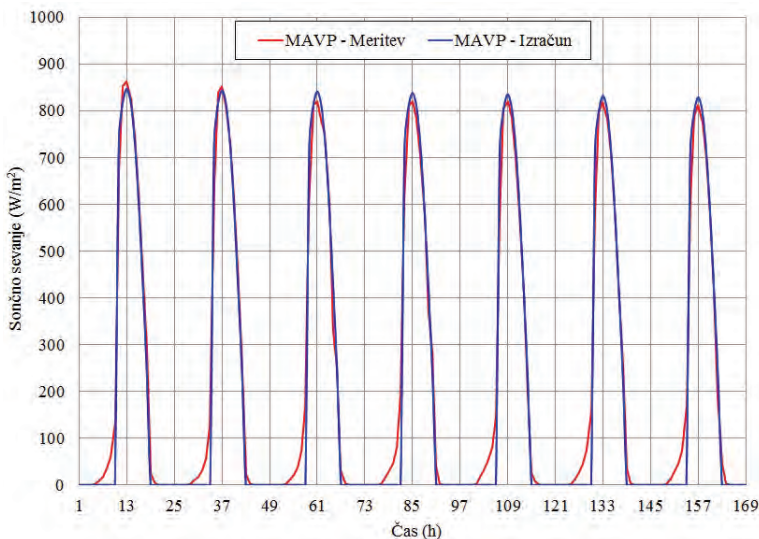
Slika 8: Obris terena iz desetih opazovalnih točk, lociranih v osi dolvodne površine pregrade Moste, pri uporabi kvantilnega ranga 0,997, in virtualni položaji Sonca pri obeh skrajnih legah tekom leta (poletni in zimski solsticij).

Ugotovimo lahko, da so si rezultati izračunov pri obeh uporabljenih različicah zelo podobni, torej sprememba kvantilnega ranga zelo malo vpliva na potek obrisov terena. Število grobo pogrešenih točk je zelo majhno, zato dobimo zelo zanesljive rezultate že pri večji vrednosti kvantilnega ranga. Rezultati

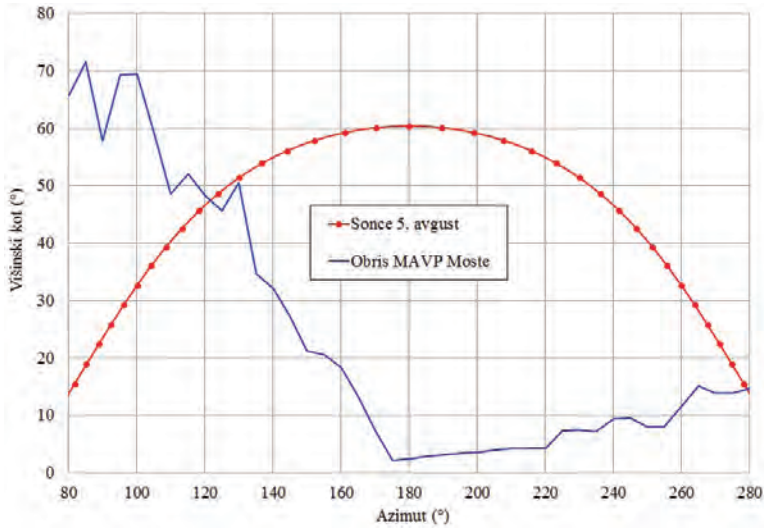
izračunov obrisov terena kažejo, da na spremembo osenčenosti opazovalnih točk po višini v osi dolvodne površine pregrade bistveno bolj vpliva desni bok pregrade, ki bolj zapira njeno območje, kar pomeni, da je popoldanski vpliv osenčenosti bistveno večji od dopoldanskega. Iz rezultatov izračunov pri uporabi obeh kvantilnih rangov je razviden precej enakomeren potek posameznih obrisov terena.

### 3.4 Osenčenost lokacije vremenske postaje Moste

Z Mobilno Avtomatsko Vremensko Postajo (MAVP) Moste, ki je bila instalirana na levem boku pregrade Moste (slika 6), so se izvajale meritve osenčenosti in s tem tudi vpliva osenčenosti na lokaciji vremenske postaje. Tako smo torej lahko preverili natančnost izračuna osenčenosti po opisani metodi, in sicer s primerjavo rezultatov meritev in rezultatov izračunov v obravnavanem obdobju v začetku avgusta 2013. Na sliki 9 so prikazani rezultati meritev in izračunov osenčenosti za obravnavano obdobje sedmih zaporednih jasnih dni od 1. 8. do 7. 8. 2013. Ugotovili smo, da se izmerjeni in izračunani časi začetka in konca osenčenosti v obravnavanem obdobju zelo dobro ujemajo, kar kaže, da je opisana metoda določitve osenčenosti zelo učinkovita. Iz rezultatov meritev je v spodnjem delu krivulje razviden vpliv difuzne svetlobe, ki se pojavi pred začetkom oziroma po koncu neposredne osenčenosti lokacije MAVP. S slike je tudi razvidno, da je na lokaciji MAVP dopoldanski vpliv osenčenosti večji od popoldanskega, kar je tudi razumljivo, saj je lokacija MAVP bolj odprta proti zahodu (glej sliko 10).



Slika 9: Izmerjeno in izračunano sončno sevanje v obravnavanem obdobju sedmih zaporednih jasnih dni.



Slika 10: Obris terena iz lokacije MAVP Moste, pri kvantilnem rangju 0,997, in virtualni položaj Sonca dne 5. avgusta.

#### 4 SKLEP

V prispevku je predstavljena nova metoda za določitev osenčenosti površin z meritvami TLS ter računalniškima programoma, izdelanima v programskih okoljih Mathematica in Matlab, ki za izbrano opazovalno točko določita obris terena ter položaj Sonca in osenčenost v poljubnem časovnem trenutku.

Predlagana metoda je bila prvič praktično uporabljena na primeru pregrade Moste, kjer so bili po skeniranju območja pregrade izdelani obrisi terena iz desetih opazovalnih točk, lociranih v osi dolvodne površine pregrade, za azimute od 80° do 280° pri izbranem horizontalnem kotu in koraku 5°. Za izločitev posameznih grobo pogrešenih točk pa sta bila izbrana kvantilna ranga 0,998 oziroma 0,997.

Pri uporabi nove metode na primeru dolvodne površine pregrade Moste je bilo ugotovljeno:

1. Število grobo pogrešenih točk iz meritev TLS je zelo majhno, saj so izračunani obrisi terena iz izbranih opazovalnih točk pri obeh uporabljenih kvantilnih rangih zelo podobni. Razvidno je, da dobimo zelo zanesljive rezultate že pri manjšem deležu izločenih točk, torej pri kvantilnem rangju 0,998.
2. Popoldanski vpliv osenčenosti dolvodne površine pregrade je bistveno večji od dopoldanskega. Na spremembo osenčenosti opazovalnih točk namreč levi bok pregrade vpliva precej manj kot desni bok, ki bolj zakriva proti jugu orientirano površino pregrade, zaradi česar je osenčena manj časa.
3. Opisana metoda določitve osenčenosti površine je zelo zanesljiva, saj je bilo v obravnavanem obdobju sedmih zaporednih jasnih dni v začetku avgusta 2013 na lokaciji MAVP Moste ugotovljeno zelo dobro ujemanje rezultatov meritev in izračunov sončnega sevanja ter tudi rezultatov, izmerjenih in izračunanih časov začetka in konca osenčenosti.

## Literatura in viri:

- Agullo, L., Mirambell, E., Aguado, A. (1996). A model for the analysis of concrete dams due to environmental thermal effects. *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*, 6(4), 25–36.
- Carlsaw, H. S., Jaeger, J. C. (1986). *Conduction of heat in solids*. Second Edition. New York: Oxford University Press.
- Cooper, P. I. (1969). The absorption of radiation in solar stills. *Solar Energy*, 12(3), 333–346.
- Dilger, W. H., Ghali, A., Chan, M., Cheung, M. S., and Maes, M. A. (1983). Temperature stresses in composite box girder bridges. *Journal of Structural Engineering*, 109(6), 1460–1478. DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1983\)109:6\(1460\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1983)109:6(1460))
- Geopedia – interaktivni spletni atlas in zemljevid Slovenije (2014). <http://www.geopedia.si/>, pridobljeno: 28. 3. 2014.
- Horn, B. K. P. (1987). Closed-form solution of absolute orientation using unit quaternions. *Journal of the Optical Society America*, 4(4), 629–642.
- Horn, B. K. P., Hilden, H. M., Negahdaripour, S. (1988). Closed-form solution of absolute orientation using orthonormal matrices. *Journal of the Optical Society America*, 5(7), 1127–1135.
- Jin, F., Chen, Z., Wang, J., Yang, J. (2010). Practical procedure for predicting non-uniform temperature on the exposed face of arch dams. *Applied Thermal Engineering*, 30(14-15), 2146–2156. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.05.027>
- Kilar, B. (1978). Približna določitev astronomskih geografskih koordinat in azimuta. Ljubljana: Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo.
- Kogoj, D. (2005). Merjenje dolžin z elektronskimi razdaljmeri. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo.
- Labibzadeh, M., Sadrnejad, S. A., Khajehdezfily, A. (2010). Thermal assessment of Karun-1 Dam. *Trends in Applied Sciences Research*, 5(4), 251–266. DOI: <http://dx.doi.org/10.3923/tasr.2010.251.266>
- Léger, P., Seydou, S. (2009). Seasonal thermal displacements of gravity dams located in northern regions. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 23(3), 166–174. DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3828\(2009\)23:3\(166\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3828(2009)23:3(166))
- Léger, P., Venturelli, J., Bhattacharjee, S. S. (1993a). Seasonal temperature and stress distributions in concrete gravity dams. Part 1: modelling. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 20(6), 999–1017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1139/93-131>
- Léger, P., Venturelli, J., Bhattacharjee, S. S. (1993b). Seasonal temperature and stress distributions in concrete gravity dams. Part 2: behaviour. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 20(6), 1018–1029. DOI: <http://dx.doi.org/10.1139/93-132>
- MATLAB – The language of technical computing (2014). Navodila za uporabo programa. <http://www.mathworks.com/products/matlab>, pridobljeno: 10. 3. 2014.
- Noorzai, J., Bayagoob, K. H., Thanoon, W. A., Jaafar, M. S. (2006). Thermal and stress analysis of Kinta RCC dam. *Engineering Structures*, 28(13), 1795–1802. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2006.03.027>
- Reshetyuk, Y. (2009). *Terrestrial laser scanning: Error sources, self-calibration and direct georeferencing*. Saarbrücken: VDM Verlag Dr. Müller Aktiengesellschaft & Co. KG, 20–22.
- Riegl (2014). Datasheet Riegl VZ-400. <http://www.riegl.com/>, pridobljeno: 3. 4. 2014.
- SEL (2014). <http://www.sel.si/>, pridobljeno 11. 3. 2014.
- Sheibany, F., Ghaemian, M. (2006). Effects of environmental action on thermal stress analysis of Karaj concrete arch dam. *Journal of Engineering Mechanics*, 132(5), 532–544. DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9399\(2006\)132:5\(532\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9399(2006)132:5(532))
- SLOCOLD (2014). <http://www.slocold.si>, pridobljeno 5. 3. 2014.
- Urbančič, T., Koler, B., Stopar, B., Kosmatin Fras, M. (2014). Analiza kakovosti določitve parametrov krogle pri terestričnem laserskem skeniranju. *Geodetski vestnik*, 58(1), 11–27. DOI: <http://dx.doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.slv.2014.01.011-027>
- Vežočanik, R. (2011). Analiza tehnologije terestričnega laserskega skeniranja za spremljanje deformacij na objektih. Doktorska disertacija. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Wolfram Mathematica 9 (2014). Navodila za uporabo programa. <http://www.wolfram.com>, pridobljeno: 2. 3. 2014.

Žvanut P., Vežočanik R., Turk G., Ambrožič T. (2014). Določitev osenčenosti dolvodne površine betonske pregrade Moste. *Geodetski vestnik*, 58 (3): 453–465. DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2014.03.453-465

**Mag. Pavel Žvanut, univ. dipl. inž. grad.**

Zavod za gradbeništvo Slovenije  
Dimičeva ulica 12, SI-1000 Ljubljana  
e-naslov: [pavel.zvanut@zag.si](mailto:pavel.zvanut@zag.si)

**Dr. Rok Vežočanik, univ. dipl. inž. geod.**

DFG Consulting d.o.o.  
Pivovarniška ulica 8, SI-1000 Ljubljana  
e-naslov: [rok.vezocnik@dfgcon.si](mailto:rok.vezocnik@dfgcon.si)

**Prof. dr. Goran Turk, univ. dipl. inž. grad.**

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo  
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana  
e-naslov: [goran.turk@fgg.uni-lj.si](mailto:goran.turk@fgg.uni-lj.si)

**Izr. prof. dr. Tomaz Ambrožič, univ. dipl. inž. geod., univ. dipl. inž. rud.**

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo  
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana  
e-naslov: [tomaz.ambrozic@fgg.uni-lj.si](mailto:tomaz.ambrozic@fgg.uni-lj.si)